

**Geometrische und mathematische
Betrachtung über die Desorientierung der
Rotationsachse im Artikulator und deren
Folgen für die Okklusion**

von

Christian Weidner

aus

Stadtsteinach

Aus der Abteilung für funktionelle Gebißanalyse
Vorstand: Professor Dr. Dr. O. Bock
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt)

Geometrische und mathematische Betrachtung über die Desorientierung der Rotationsachse im Artikulator und deren Folgen für die Okklusion

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Christian Weidner

aus

Stadtsteinach

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen - Nürnberg

Geometrische und mathematische
Betrachtung über die Beschreibung der
Rotationsachsen im Affektor und deren
Folgen für die Okkulsion



Dekan: Professor Dr. med. W. Schiefer

Referent: Professor Dr. med. Dr. med. dent. O. Bock

Korreferent: Professor Dr. med. dent. M. Hofmann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. 7. 1971

Christine Weidner

Stadtschule

Meinen Eltern und meiner Frau
in Dankbarkeit gewidmet

Inhalt

Einleitung	1
Problemstellung	2
Methodische Voraussetzung	5
Erläuterung der für die mathematische Betrachtung notwendigen Größen	6
A) Die Desorientierung der Drehachse im Artikulator	6
B) Das Ausmaß der Bißsperre bei der Registrierung der Unterkieferhaltung	16
C) Die anatomischen Größenverhältnisse	18
Zusammenfassung aller für die mathematische Betrachtung notwendigen Größen	21
Methodik der Berechnung von parallelen Drehachsendesorientierungen	22
Berechnung der okklusalen Fehler bei parallelen Drehachsendesorientierungen	27
Ergebnisse bei parallelen Drehachsen- desorientierungen	31
Auswertung der okklusalen Fehler bei parallelen Drehachsenänderungen	38
Betrachtung von nicht parallelen Drehachsen- änderungen	43
A) Die Drehachse wird in der Horizontalebene verstellt	43
1. Methodik der Berechnung	44
2. Ergebnisse	47

B) Die Drehachse wird in der Vertikalebene

verstellt	53
1. Methodik der Berechnung	53
2. Ergebnisse	55
Vergleich mit den Berechnungen anderer Autoren ...	62
Diskussion	65
Zusammenfassung	71

Die Wissenschaft fordert, daß Zahnersatzarbeiten in einem Artikulator hergestellt werden. Dabei sollte das Oberkiefermodell schädelbezüglich eingegipst werden. Das Unterkiefermodell wird dann nach entsprechenden Registriermethoden gegen das Oberkiefermodell orientiert.

In den zahntechnischen Labors wird eine Vielfalt von Artikulatoren und Okkludatoren verwendet. Das Spektrum reicht von einfachen Okkludatoren in Miniaturausführung, die schon in ihren Proportionen der Anatomie des menschlichen Kauorgans nicht gerecht werden, bis zu Mittelwertartikulatoren. Beim Eingipsen der Modelle in die entsprechenden Artikulatoren wird häufig nicht genug auf den dreidimensionalen Bezug der Modelle zur Scharnierachse geachtet, so daß selbst bei Mittelwertartikulatoren die Drehachsenlage oft erheblich von der Patientenrotationsachse differiert. Man muß sich fragen, inwieweit eine Desorientierung der Drehachse im Artikulator gegenüber den Verhältnissen am Patienten für die Praxis von Bedeutung ist.

Bei Kiefergelenksbeschwerden, die durch okklusale Interferenzen verursacht werden, führt man heute im Rahmen der Okklusionsdiagnostik meist auch eine Modellanalyse durch. Die Störungen im okklusalen Bereich liegen oft nur in der Größenordnung von mehreren $1/100$ mm. Die Modelle müssen deshalb gelenkbezüglich in den Artikulator eingesetzt werden. Dabei interessiert für das praktische Vorgehen die Frage, ob die Scharnierachse am Patienten exakt, d. h. experimentell bestimmt werden

muß, oder ob der Gesichtsbogen nach einem Mittelwert ausgerichtet werden darf (7). Deshalb muß man feststellen, in welchem Maße Okklusionsveränderungen auftreten, wenn die Drehachse entsprechend einem Mittelwert im Artikulator desorientiert wird.

Diese beiden Darstellungen enden in der gleichen Problematik, wenn auch die Größenordnungen unterschiedlich sind: Welche Folgen erwachsen für die Okklusionsverhältnisse, wenn Modelle im Artikulator nicht drehachsengerecht eingestellt werden?

Problemstellung

Es sollen die Auswirkungen auf die Okklusion untersucht werden, wenn die Rotationsachse im Artikulator gegenüber den Patientenverhältnissen desorientiert wird.

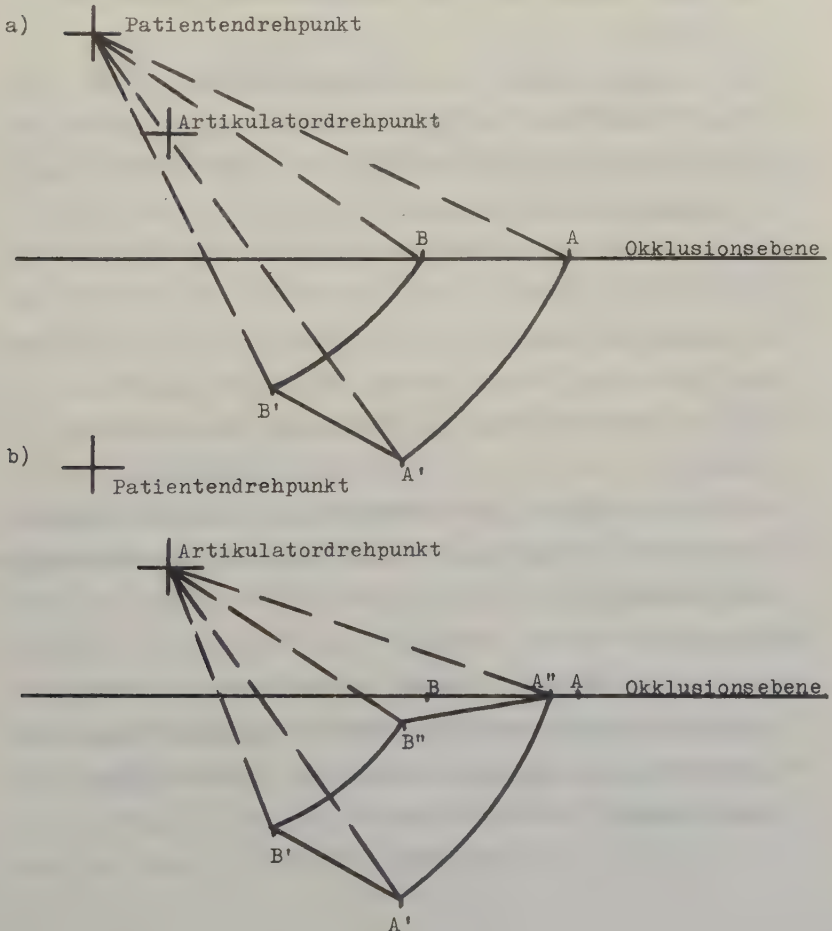
Diese Problemstellung steht in enger Beziehung zur Registrierung der Unterkieferhaltung. Würde die Bißregistrierung unter Kontakt der Zahnreihen durchgeführt, so könnte man diese Position auf den Artikulator übertragen. Infolge von Fehleinstellungen der Drehachsenlage würden dann zwar die Öffnungs- und Schließbewegungen im Artikulator mehr oder weniger stark von denen des Patienten abweichen, aber die Okklusion würde exakt mit der am Patienten registrierten übereinstimmen.

Da aber bei den verschiedenen heute angewandten Techniken der Registrierung der Unterkieferhaltung die Zahnreihen außer Kontakt stehen sollen, muß nach dem Entfernen der Registrare im

Artikulator eine kurze Schließbewegung durchgeführt werden. Eine Fehleinstellung der Drehachsenlage würde sich dann auf die Okklusion auswirken, wie die Abb. 1 zeigt.

Abb. 1:

Geometrische Veranschaulichung der Schließbewegung im Artikulator, nachdem die Registrate entfernt wurden



ad Abb. 1:

Es wird von Drehpunkt gesprochen, da sich in der lateralen Ansicht die Drehachse zu einem Punkt verkürzt.

Auf die Kompensationskurve nach Spee und die Andeutung von Höckern kann verzichtet werden. Die okkludierenden Zahnreihen sind zu Strecken reduziert.

A entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Eckzahnbereich.

B entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Bereich des
2. Molaren.

a) Der Patient öffnet für die Bißregistrierung:

Punkt A wird zu A' und B wird zu B'.

b) Im Artikulator werden die Zahnreihen nach dem Entfernen
der Registrate geschlossen:

Punkt A' wird zu A" und B' wird zu B".

Im wesentlichen entstehen bei der Desorientierung der Rotationsachse zwei Fehler, deren Ursache geometrisch gesehen in der Interferenz zweier verschiedener Kreisbögen zu suchen ist.

1. Fehler:

Das Unterkiefermodell wird in sagittaler Richtung versetzt; in der Abb. 1 b kommt es z. B. zu einer Distalverschiebung des Unterkiefermodells.

2. Fehler:

Die Zahnreihen sperren im mesialen oder distalen Bereich (Christensen'sches Phänomen); bei der speziellen Desorientierungsrichtung der Drehachse in der Abb. 1 sperren die Zahnreihen distal.

In der Abb. 1 wurde die Öffnungsbewegung, die der Öffnungsweite bei der Registrierung der Unterkieferhaltung entspricht, und die Drehachsenänderung sehr groß gewählt. Hält man diese Größen im real möglichen Bereich, so sind die okklusalen Folgen so gering, daß sie zeichnerisch nicht mehr sichtbar gemacht werden können. Es muß sich also eine mathematische Betrachtung anschließen.

Methodische Voraussetzung

Die Patientenrotationsachse soll wie ihr Bezugsobjekt, die Artikulatorordrehachse, als einfache feststehende Scharnierachse aufgefaßt werden. Wenn sich auch insgesamt die individuellen Unterkieferbewegungen durch eine verwirrende Kompliziertheit und Variabilität auszeichnen, so ist dieser Schritt dennoch zulässig.

Die Gründe hierfür sind erstens eine geometrische und mathematische Vereinfachung. Weiterhin ist die simplifizierte Veranschaulichung der Unterkieferbewegung für diese Untersuchung belanglos, da entsprechend der hier diskutierten Problemstellung nur sehr kurze Bewegungsabläufe in einer Ebene erfaßt werden, bei denen sich der Unterschied zwischen der einfachen Kreisfunktion und einer komplizierten kreisähnlichen Funktion, die den individuellen Bewegungsablauf charakterisieren würde, kaum bemerkbar macht. Außerdem entspricht erfahrungsgemäß der erste Abschnitt einer geführten Unterkieferöffnungsbewegung ziemlich exakt einem Kreisbogenabschnitt.

Erläuterung der für die mathematische Betrachtung notwendigen Größen

Folgende Parameter können eine okklusale Fehleinstellung des Unterkiefermodells in Relation zum Oberkiefermodell im Artikulator bewirken:

- A) Die Desorientierung der Drehachse im Artikulator (Ausmaß und Richtung), auf der die gesamte Problemstellung basiert.
- B) Das Ausmaß der Bissperre bei der Registrierung der Unterkieferhaltung.
- C) Die anatomischen Größenverhältnisse.

Diese drei Punkte sollen im einzelnen näher erläutert und ihre Dimensionen zahlenmäßig festgelegt werden.

A) Die Desorientierung der Drehachse im Artikulator

1. Die Desorientierung der Drehachse im Rahmen der Okklusionsdiagnostik:

Bei der Durchführung einer Funktionsanalyse im Artikulator ist es notwendig zu klären, ob die Rotationsachse am Patienten mit dem arbiträren oder kinematischen Gesichtsbogen bestimmt werden soll. Von der Klärung dieser Frage hängt es ab, ob die Okklusionstherapie immer mit großem technischen und zeitlichen Aufwand verbunden sein muß.

In der Literatur sind mehrere Methoden zur Durchführung der Modellanalyse beschrieben, z. B. nach Gerber, Krogh' Poulsen, Posselt, Lauritzen (6) u. a.. Von diesen wurde besonders die "Lauritzen-Technik" durch die kinematische

Festlegung der Unterkieferrotationsachse bekannt. Hierzu wird der "Hinge Axis Locator" verwendet.

"Ein vorderer horizontaler Stab (Anterior Cross Bar), der einen seitlichen Arm (Side Arm) besitzt, wird am Bißlöffel (Run Clutch Tray) angeschraubt und mit Hilfe von Alginaten an den unteren Zähnen befestigt. Eine Nadel am Ende des seitlichen Arms wird so eingestellt, daß sie unbeweglich bleibt, sobald man eine geringfügige Bewegung (Öffnen und Schließen) in der "Forcing Position" ausführt (reine Drehbewegung). Den durch die Nadel angegebenen Punkt tätowiert man in die Haut ein" (10). Nach Brotman kann mit Hilfe des "Hinge Axis Locator" von Lauritzen die Transversal Hinge Axis bis auf eine Genauigkeit von 0,25 mm markiert werden (2, 1).

Okklusale Fehler infolge von Drehachsenabweichungen innerhalb eines Kreises mit dem Radius von 0,25 mm liegen aber mit Sicherheit innerhalb der Reproduktionsgenauigkeit der Modelle im Artikulator, d. h. diese geringe Desorientierung der Rotationsachse kann vernachlässigt werden und scheidet für die mathematische Betrachtung aus. Die "kinematische Methode" ist somit "exakt", aber technisch und zeitlich recht aufwendig.

Bei den anderen Methoden zur Durchführung der Modellanalyse wird heute oft in der Praxis die arbiträre Scharnierachsenbestimmung bevorzugt:

"Hierbei werden die Registrierspitzen eines an einer Bißschablone befestigten Gesichtsbogens auf die Gelenkkopfgegend, etwa 1 cm vor dem Tragus auf der Tragus-Augenwinkellinie ein-

gestellt. Dann werden die Modelle im Artikulator eingegipst und zwar so, daß die Registrierstifte in die Verlängerung der Öffnungsachse zu liegen kommen" (3). Eine exakte Festlegung der Scharnierachse wird bei dieser Methode nicht erreicht.

In verschiedenen Untersuchungen wurden arbiträr bestimmte Drehachsen mit kinematisch ermittelten verglichen und die Unterschiede statistisch ausgewertet. "Die Resultate schwanken zwischen 33 % (Lauritzen und Bodner, Teteruck und Lundeen) und 95 % (Beyron, Schallhorn) der Fälle, bei denen die richtigen Scharnierachsenpunkte innerhalb eines Kreises mit dem arbiträr festgelegten Scharnierachsenpunkt als Zentrum und einem Radius von 5 - 6 mm liegen" (4). Kühl¹⁾ bezieht sich auf die gleichen Werte, denn er schreibt: "Bei Verwendung von Mittelwerten ist mit der Möglichkeit einer Fehlregistrierung von etwa 5 mm zu rechnen" (7). Auch Brotman¹⁾ (2,II) legt seinen Berechnungen eine "Fehleinstellung des Drehpunktes" um 5 mm zugrunde.

Ob eine Desorientierung der Drehachse um ca. 5 mm im Rahmen der Okklusionsdiagnostik noch zulässig ist, kann erst an Hand der Ergebnisse aus der mathematischen Betrachtung in der Diskussion entschieden werden.

1) Auf die Berechnungen von Kühl und Brotman wird Seite 62 näher eingegangen.

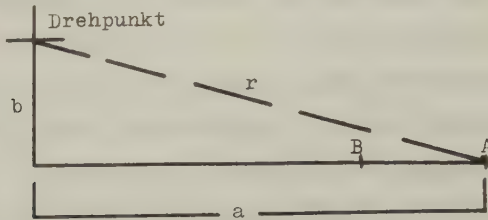
2. Die Desorientierung der Drehachse im Artikulator bei Laborarbeiten:

Die Ursachen für die Drehachsendesorientierung bei Laborarbeiten lassen sich in drei Hauptpunkten zusammenfassen.

- a) Die Ausmaße des Okkludators oder Artikulators sind auf die anatomischen Größen nicht abgestimmt; z. B. billige Okkludatoren in Miniaturausführung (Klipp-Klapp), selbstgebastelte Drahtkonstruktion usw.
Ein Maß für die durchschnittliche Größe der Drehachsendesorientierung läßt sich hierbei nicht angeben; es dürften aber Werte um 10 - 15 mm keine Seltenheit sein. Die Scharnierachsenabweichung erfolgt vor allem in antero-posteriorer Richtung.
- b) Die individuelle Größenvariabilität des menschlichen Unterkiefers wird im Mittelwertartikulator nicht berücksichtigt. Entsprechend den Werten, die Bonwill durch Ausmessen von mazerierten Schädeln gefunden hat (3), dürften die Maxima der Rotationsachsendesorientierung aus diesem Grund bei 5 - 10 mm liegen. Hierbei gibt es keine definierte Richtung der Scharnierachsenabweichung.
- c) Durch fehlerhaftes Einsetzen der Modelle in den Artikulator wird selbst im Mittelwertartikulator die Drehachse in Relation zu den Modellen oft erheblich verstellt. Folgende Zeichnungen (Abb. 3 - 7) veranschaulichen die Fehler beim "Einartikulieren" der Modelle.

Abb. 2:

Dieses Schema des Unterkiefers mit Drehpunkt wird den Abbildungen 3 - 7 zugrunde gelegt.



A entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Eckzahnbereich.
B entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Bereich des
2. Molaren.

Ein rechtwinkliges Dreieck wird gebildet aus:

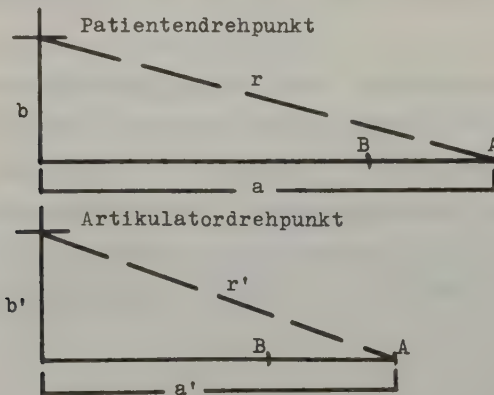
r = Hypotenuse, die dem Radius des Kreises entspricht, auf
dem sich A beim Öffnen bewegt

a = horizontale Kathete

b = vertikale Kathete

Abb. 3:

Die Modelle werden in sagittaler Richtung falsch eingegipst
(Lateralansicht).



ad Abb. 3:

$$b' = b$$

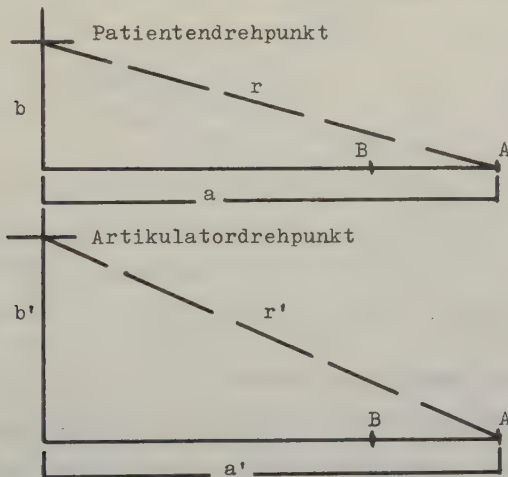
$$a' < \text{oder} > a$$

r' ändert sich abhängig von a'

Dies entspricht einer mesialen oder distalen Desorientierung der Drehachse im Artikulator. Das Ausmaß der Modellfehleinstellung entspricht direkt der Drehachsenänderung.

Abb. 4:

Die Modelle werden in vertikaler Richtung falsch, also zu hoch oder zu tief, eingegipst (Lateralansicht).



$$a' = a$$

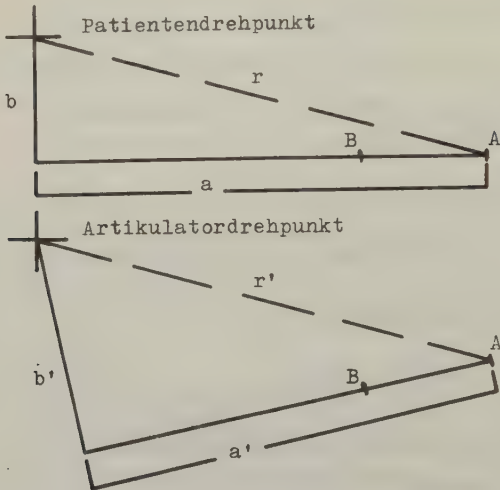
$$b' < \text{oder} > b$$

r' ändert sich abhängig von b'

Dies entspricht einer cranialen oder caudalen Desorientierung der Drehachse im Artikulator. Das Ausmaß der Modellfehleinstellung entspricht wieder direkt der Drehachsenänderung.

Abb. 5:

Die Modelle werden um eine transversale Achse gekippt
(Lateralansicht).



$$b' > \text{ oder } < b$$

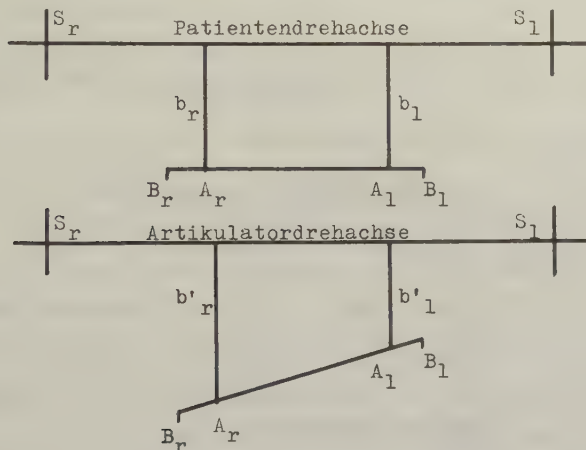
$$a' < \text{ oder } > a$$

r' ändert sich abhängig von a' und b'

Dies entspricht einer mesiocranialen oder distocaudalen Desorientierung der Drehachse im Artikulator, wobei die cranialen und caudalen Komponenten jeweils größer sind als die mesialen und distalen.

Abb. 6:

Die Modelle werden um eine sagittale Achse gekippt
(Frontalansicht).



S_r = rechter Scharnierachsenpunkt (rechter Gelenkkopf)

S_l = linker Scharnierachsenpunkt (linker Gelenkkopf)

Zum besseren Verständnis werden die Punkte A, B und die Strecke b mit r = rechts und l = links gekennzeichnet.

$a' = a$

$b'_r = > \text{ oder } < b_r$

$b'_l = < \text{ oder } > b_l$

r'_r ändert sich abhängig von b'_r

r'_l ändert sich abhängig von b'_l

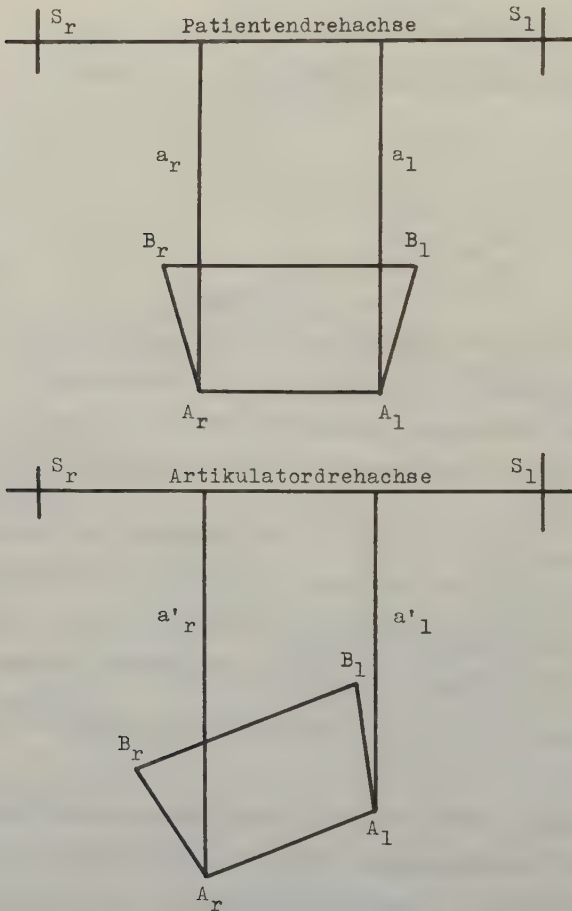
(Die Strecken a und r sind infolge der Frontalansicht nicht darstellbar).

Dies entspricht einer Verdrehung der Scharnierachse im Artikulator in der Vertikalebene, wobei der rechte und der linke Scharnierachsenpunkt diametral zueinander liegen. Entsprechend

dem Strahlensatz ist der vertikale Abstand von S_r zu S_l (im Vergleich zum Patienten) um den Faktor 2 - 3 größer, als der vertikale Abstand der Punkte A_r zu A_l bzw. B_r zu B_l .

Abb. 7:

Die Modelle werden in der Horizontalebene verdreht (Cranialansicht).



ad Abb. 7:

$$b' = b$$

$$a'_r > \text{ oder } < a_r$$

$$a'_l < \text{ oder } > a_l$$

r'_r ändert sich abhängig von a'_r

r'_l ändert sich abhängig von a'_l

(Die Strecken b und r sind infolge der Cranialansicht nicht darstellbar).

Dies entspricht einer Verdrehung der Scharnierachse im Artikulator in der Horizontalebene, wobei der rechte und der linke Scharnierachsenpunkt wieder diametral zueinander liegen. Entsprechend dem Strahlensatz (vgl. Abb. 6) ist der sagittale Abstand von S_r zu S_l (im Vergleich zum Patienten) wieder um den Faktor 2 - 3 größer, als der sagittale Abstand der Punkte A_r zu A_l bzw. B_r zu B_l .

Die speziellen Fehleinstellungen von Modellen im Artikulator bezüglich der Patientendrehachse, die in den Abb. 3 - 7 gezeigt werden, sind geometrisch gesehen Grenzfälle. Da es sich in Wirklichkeit um beliebige Desorientierungen im Ausmaß, in der Art und Richtung handelt, summieren sich die einzelnen "Richtungsfehler". Eine bestimmte Größe für die Drehachsenänderung in Relation zu den Modellen gegenüber dem Patienten läßt sich schwer angeben, da dieses Ausmaß davon abhängt, inwieweit man sich in den verschiedenen Labors bemüht, die Modelle scharnierachsengerecht einzustellen. Persönliche Erfahrungen haben gezeigt, daß vor allem auf das Verkanten und Kippen der Modelle nicht immer geachtet wird.

Die Berechnungen werden für Drehachsenverschiebungen nach mehreren Richtungen um 2,5, 5, 10 und 15 mm durchgeführt. So kann man dann an Hand der zu erstellenden Tabellen die jeweiligen okklusalen Folgen für bestimmte Modellfehleinstellungen ablesen.

B) Das Ausmaß der Bißsperre bei der Registrierung der Unterkieferhaltung

Im zahnmedizinischen Schrifttum wird eine Reihe von Techniken zur Registrierung der Unterkieferhaltung beschrieben. Sie unterscheiden sich einerseits in der methodischen Zielsetzung, andererseits durch die Verwendung verschiedener Materialien. Allen gemein ist, daß die Registrierung nicht unter Zahnkontakt erfolgt, wobei das Ausmaß der Bißsperre bei den einzelnen Methoden differiert.

Fuchs hat, als er die Genauigkeit von Okklusionsfixierungen untersuchte, Rosa Wachs, Beauty Pink Wax, Alu-Wax, Rosa Wachs-Zinn-Folie, Copr-Wax, Wachs-Gips-Kombination (Kobes) und Akrylat (Fuchs) als Fixierungsmaterialien miteinander verglichen und festgestellt, daß allein vom Material her Unterschiede von ca. 2 - 3 mm in der Öffnungsweite bei der Registrierung zustande kommen (5).

Bei der Methode nach Lauritzen wird der Unterkiefer durch Beauty Pink Wax fixiert (1), während bei der okkluso-artikulären Befunderhebung nach Gerber ein im Oberkiefer zentral angebrachter Stützstift auf einer im Unterkiefer

eingesetzten Registrierplatte fixiert, und nachträglich ein "Gipsschlüssel" der Zahnreihen hergestellt wird (8). Bei der Methode nach Shore wird z. B. die Registrierung mit Hilfe von Alu-Wax und bei der Methode nach Lucia mit einer mit Zinkoxydpaste belegten Wachsplatte durchgeführt (1). Nach Kühl und Roßbach reicht bei der "Lauritzen-Technik" in der Regel zur Registrierung der Kieferrelationen eine Bißsperre von 2 mm aus, während bei der Methode nach Gerber der Biß um 3 - 5 mm gesperret bleibt (8). Auch die anderen Techniken unter Verwendung verschiedenster Materialien liegen etwa bei Öffnungsweiten im Bereich der Front zwischen 2 und 5, maximal 6 mm.

Gegenwärtig werden auch sog. "Quetschbisse" mit Siliconmassen, z. B. Silaplast, immer beliebter. Bei dieser Methode sind die Kieferrelationen nur schwer überprüfbar, und die Bißsperre kann ganz verschiedene Ausmaße annehmen. Okklusale Fehler im Artikulator sind hier besonders kritisch zu prüfen, da sich zu den Parametern der Drehachsendesorientierung und der Bißsperre auch noch die elastische Materialeigenschaft als Fehlerquelle gesellt.

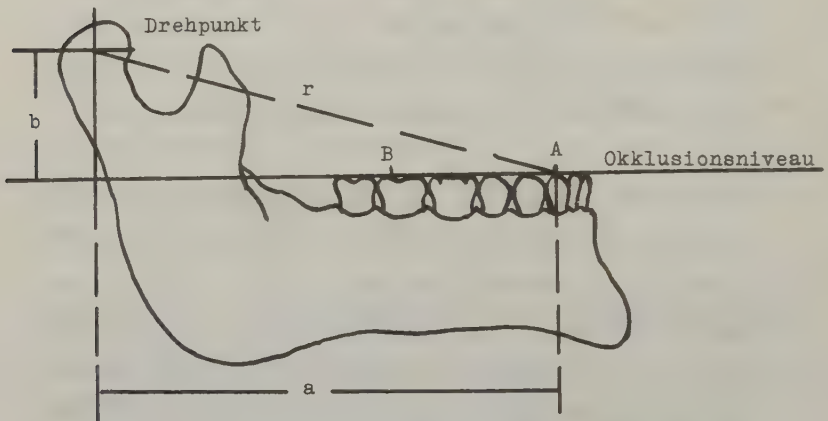
In den Berechnungen anderer Autoren, z. B. Kühl, Fox, Brotman und Weinberg (7, 2, 11), auf die Seite 62 noch näher eingegangen wird, werden ebenfalls verschiedene Öffnungsweiten bei der Registrierung der Unterkieferlage als Rechengröße eingesetzt, wobei die Bißsperre von 5 mm im Bereich der Front meist als markante obere Grenze an-

genommen wird. Auch im Rahmen dieser mathematischen Betrachtung werden für die Bißsperre im Bereich der Front Werte von 1 - 6 mm verwendet.

C) Die anatomischen Größenverhältnisse

Abb. 8:

Der Unterkiefer wird zur geometrischen Verdeutlichung auf zwei Strecken reduziert (s. Abb. 2 - 7).



A entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Eckzahnbereich.

B entspricht einem Punkt des Unterkiefers im Bereich des 2. Molaren.

b = Abstand des Drehpunktes bis zum Okklusionsniveau (Lot);
dies entspricht einer vertikalen Kathete.

a = Abstand des Eckzahnbereichs bis zum Lotschnittpunkt mit b;
dies entspricht einer horizontalen Kathete.

r = Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, das sich aus

a, b und r zusammensetzt; r entspricht dem Radius des Kreises, auf dem A beim Öffnen wandert.

Als Kontaktfeld der Unterkieferzahnreihe wird die Strecke $\overline{AB}$ (vom Eckzahn bis zum 2. Molaren) angenommen. Die Weisheitszähne werden in der Regel nicht ersetzt, und die Front wird bei einer ausgeprägten sagittalen Stufe in der zentrischen Kieferposition nicht belastet, deshalb kann man sie bei dieser Betrachtung vernachlässigen. Der sagittale Abstand der Schneidezahnartikulationsflächen bis zum Eckzahn ist außerdem so gering, daß die errechneten Fehlerwerte für den Eckzahnbereich auf die Front übertragen werden können, wenn diese in Kontakt mit ihren Antagonisten stehen sollte.

Als Zahlenwerte für die in Abb. 8 angegebenen Größen werden möglichst glatte Zahlen benutzt, da kleine Abweichungen dieser Ausgangswerte auf die Endergebnisse nur geringen Einfluß haben. Unter Bezugnahme auf die geometrischen Zusammenhänge (s. Abb. 1) kann man feststellen, daß zu groß angenommene Werte von a die okklusalen Folgen verringern; zu kleine Ausgangswerte von a verstärken die resultierenden okklusalen Fehler.

"Bonwill hat durch zahlreiche Messungen am mazerierten Schädel die Größenverhältnisse des Unterkiefers untersucht und gefunden, daß die Mitten der Gelenkköpfe unter sich und mit dem Berührungspunkt der mittleren Frontzähne ein gleichseitiges Dreieck von durchschnittlich 10 cm Seitenlänge bilden" (3). Auf diese Messungen von Bonwill wurden die hier verwendeten

Zahlenwerte annähernd abgestimmt, die im folgenden aufgeführt sind:

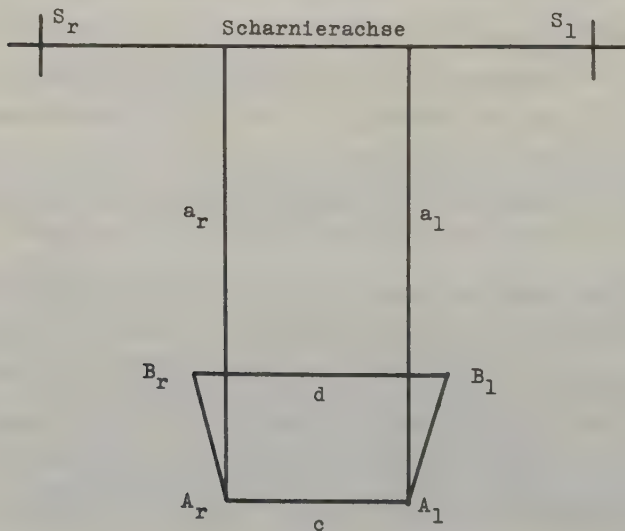
$a = 100 \text{ mm}$ Dieser Wert ist nach Bonwill etwas groß, aber nicht so sehr, wie es scheint, da die Patientenrotationsachse meist nicht mit der Gelenkkopfmitte übereinstimmt und etwas distal liegt (3).

$b = 25 \text{ mm}$

Abstand $\overline{AB} = 25 \text{ mm}$ Dieser Wert wurde durch eigene Messungen an Modellen gewonnen.

Für die Betrachtung von nicht parallelen Drehachsenänderungen ist auch der Abstand der beiden Gelenkköpfe und die Unterkieferbreite von Bedeutung.

Abb. 9: (vgl. Abb. 7)



S_r = rechter Scharnierachsenpunkt (rechter Gelenkkopf)

S_l = linker Scharnierachsenpunkt (linker Gelenkkopf)

Abstand $\overline{S_r S_l} = 110 \text{ mm}$ Dieser Wert ist nach Bonwill ebenfalls etwas groß; es wurde aber berücksichtigt, daß die Scharnierachsenpunkte auf der Außenhaut markiert werden.

$c = \text{Abstand } \overline{A_r A_l} = 38 \text{ mm}$

$d = \text{Abstand } \overline{B_r B_l} = 50 \text{ mm}$

(Die Werte für c und d wurden wieder durch eigene Messungen an Unterkiefermodellen gefunden).

Zusammenfassung aller für die mathematische Betrachtung notwendigen Größen

Das Ausmaß der Drehachsendesorientierung im Artikulator wird mit s bezeichnet.

Werte für s :

2,5 und 5 mm (im Rahmen der Modellanalyse),

10 und 15 mm (bei Laborarbeiten)

Die Öffnungsweite (Bissperre) bei der Registrierung der Unterkieferhaltung im Bereich der Front wird mit l bezeichnet.

Werte für l :

1, 2 (Methode nach Lauritzen), 3, 4, 5 (Methode nach Gerber) und 6 mm

$a = 100 \text{ mm}$ (s. Abb. 8)

$b = 25 \text{ mm}$ (s. Abb. 8)

Abstand $\overline{AB} = 25 \text{ mm}$ (s. Abb. 8)

Abstand $\overline{S_r S_l} = 110 \text{ mm}$ (s. Abb. 9)

$c = \overline{A_r A_l} = 38 \text{ mm}$ (s. Abb. 9)

$d = \overline{B_r B_l} = 50 \text{ mm}$ (s. Abb. 9)

Folgende Abkürzungen werden verwendet:

SP = Drehpunkt oder Drehachse des Patienten

SA = Drehpunkt oder Drehachse des Artikulators

Methodik der Berechnung von parallelen Drehachsendesorientierungen

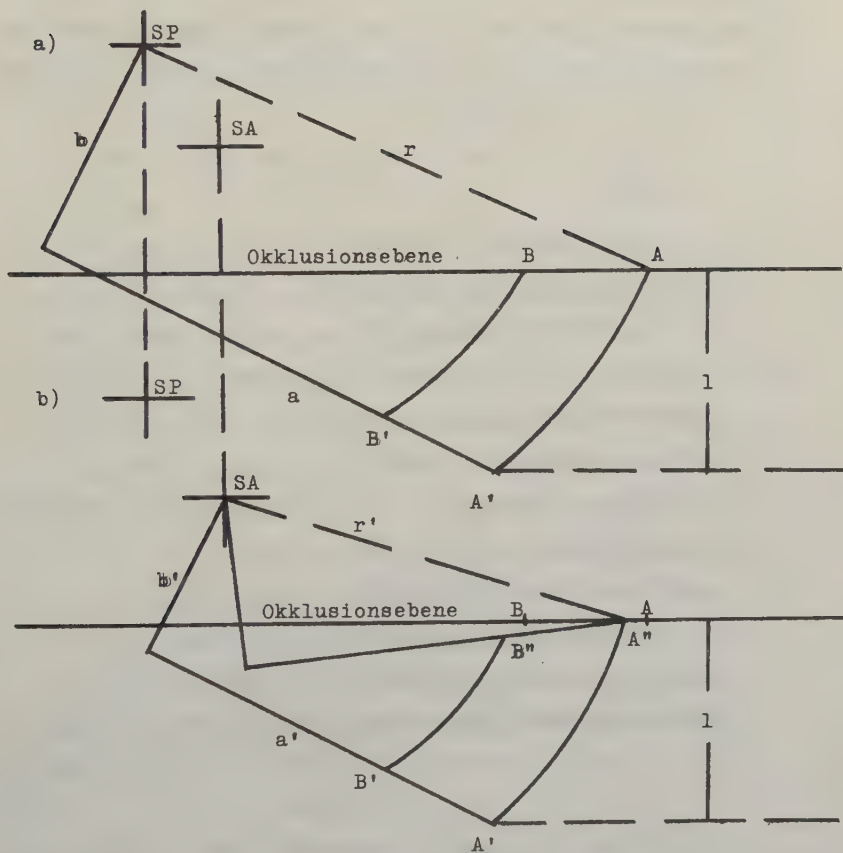
Dieses Problem läßt sich zweidimensional in der lateralen Ansicht behandeln. Drehachsen erscheinen dann als Drehpunkte. In der Abb. 10 wird der geometrische Ablauf noch einmal verdeutlicht.

In der Abb. 10 a öffnet der Patient um SP (Patientendrehpunkt). Punkt A wird zu A'; Punkt B wird zu B'.

Im Artikulator (Abb. 10 b) wird als Folge der Drehpunktänderung a zu a', b zu b' und r zu r'. Beim Schließen um SA (Artikulator-drehpunkt) bis zum Primärkontakt wird A' zu A'' und B' zu B''.

Der Abstand von A zu A'' und der vertikale Abstand von B zu B'' geben sowohl einen Hinweis auf die sagittale Fehleinstellung des Unterkiefermodells, als auch auf das Ausmaß des Sperrens der Zahnreihen im Artikulator.

Abb. 10:



Für die Berechnung von A" und B" gibt es mehrere Möglichkeiten.

1. Möglichkeit:

Der Patientendrehpunkt wird als Zentrum eines Koordinatensystems aufgefaßt mit zur Okklusionsebene paralleler Abszisse.

1) Kreis um SP durch A und A':

Mit Hilfe von y von A' = b + 1 läßt sich x von A' berechnen.

2) 1. geometrischer Ort von B':

Kreis um SP durch B und B'

2. geometrischer Ort von B':

Kreis um A' mit dem Radius $\overline{AB} = 25 \text{ mm}$

Der Schnittpunkt der beiden Kreise ist B'.

3) Kreis um SA durch A' und A":

Mit Hilfe von y von A" = b läßt sich x von A" berechnen.

4) 1. geometrischer Ort von B":

Kreis um SA durch B' und B".

2. geometrischer Ort von B":

Kreis um A" mit dem Radius $\overline{AB} = 25 \text{ mm}$

Der Schnittpunkt der beiden Kreise ist B".

5) $dx = x \text{ von A} - x \text{ von A"} = \text{sagittale Fehleinstellung des Modells}$

$dy = y \text{ von B} - y \text{ von B"} = \text{vertikale Fehleinstellung des Modells (Sperrern)}$

Dieser Lösungsweg ist zwar übersichtlich und exakt, mathematisch aber recht umständlich, da infolge von häufigem Quadrieren und Wurzelziehen die Zwischenergebnisse mindestens bis auf 9 Stellen hinter dem Komma berechnet werden müssen, um die Ergebnisse auf 1/100 mm genau zu erhalten.

2. Möglichkeit:

Sie beruht auf der Verwendung der geometrischen Strahlensätze. Hierbei muß man aber auf Grund bestimmter Voraussetzungen, die hier nicht weiter ausgeführt werden sollen, Ungenauigkeiten vor allem bei großen Öffnungsweiten in Kauf nehmen.

3. Möglichkeit:

Der endgültig beschrittene Weg ist eine Abwandlung der ersten Möglichkeit. Es braucht nicht der gesamte Ablauf, wie Öffnen beim Patienten, Einsetzen im Artikulator und Schlußbiß im Artikulator rechnerisch nachvollzogen werden. Es genügt, wenn man für den Patienten und den Artikulator eine gemeinsame geöffnete Position annimmt, dann einmal den Patienten und dann den Artikulator schließen läßt (s. Abb. 12). Dies hat den Vorteil, daß man sowohl den Patientendrehpunkt als auch den Artikulatordrehpunkt als Zentrum eines Koordinatensystems ansehen und somit für beide Systeme isolierte Werte errechnen kann, die aber nach einer Koordinatentransformation verglichen werden können.

ad. Abb. 11:

Hier liegt z. B. der Artikulatordrehpunkt 15 mm mesial und 10 mm cranial. Alle Werte, die im Artikulatorkoordinatensystem errechnet werden, können auf das Patientenkoordinatensystem umgerechnet werden, indem man zu den x-Werten 15 mm addiert und von den y-Werten 10 mm subtrahiert. So kann man

dann die x -Werte von A und A'' und die y -Werte von B und B'' , die in den beiden unterschiedlichen Systemen gewonnen werden, verglichen.

Abb. 11:

Prinzip der Koordinatentransformation

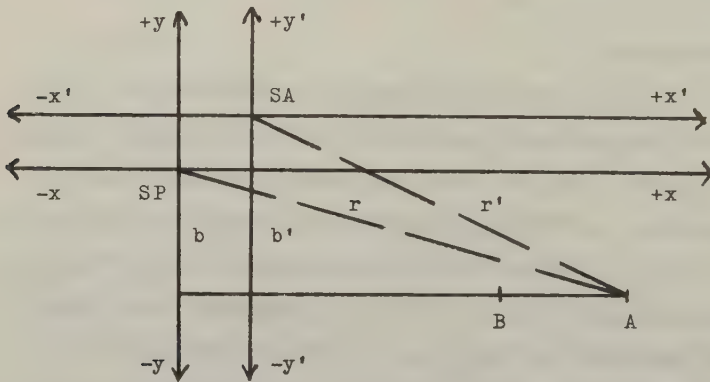
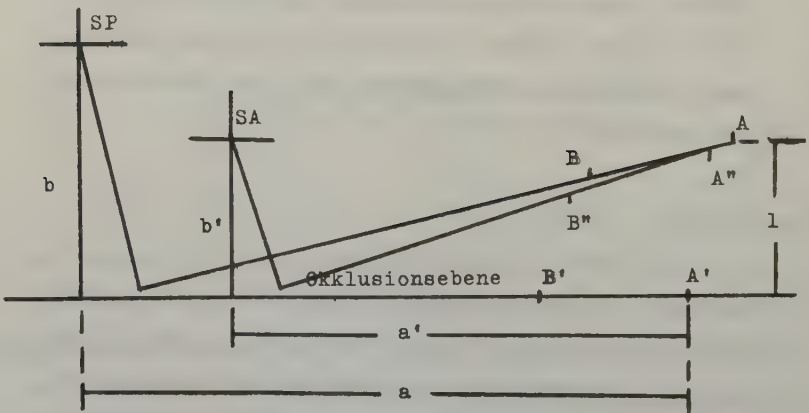


Abb. 12:



ad Abb. 12:

In Wirklichkeit werden die Öffnungsbewegungen unterhalb der Okklusionsebene durchgeführt. Zur Vereinfachung werden sie für die Berechnung oberhalb des Okklusionsniveaus angenommen. Dies hat bei geringen Öffnungsweiten keine erkennbaren Folgen für die Zahlenergebnisse.

A und A" haben denselben y-Wert, also Kontakt. Bei großen Öffnungsweiten (s. Abb. 12) entsteht bezüglich der Identität dieser beiden y-Werte eine Fehlerquelle, die aber im Bereich der Öffnung von 1 - 6 mm kaum zur Auswirkung kommt, d. h. Werte auf 1/1000 mm genau ändern sich nur minimal.

Liegt B" caudal von B, so sperren die Zahnreihen im Artikulator distal. Liegt B" cranial von B, so sperren die Zahnreihen mesial.

Berechnung der x-Werte von A und der y-Werte von B in Abhängigkeit von der Öffnungsweite 1

a) Berechnung der x-Werte von A

1) Kreis um SP durch A':

$$x^2 + y^2 = a^2 + b^2 = 100^2 + 25^2$$

$$x^2 = 10\,625 - y^2$$

2) Einsetzen von y von A = - b + 1

$$x^2 = 10\,625 - (1 - 25)^2$$

$$x\text{-Wert von A} = + \sqrt{10\,000 + 501 - 1^2}$$

b) Berechnung der y-Werte von B

1. geometrischer Ort für B:

Kreis um SP durch B'

$$x^2 + y^2 = (a - 25)^2 + 25^2$$

2. geometrischer Ort für B:

Kreis um A mit dem Radius $\overline{AB} = 25 \text{ mm}$

$$(x - x\text{-Wert von A})^2 + (y + 25 - 1)^2 = 25^2$$

Der Schnittpunkt beider Kreise ist B.

Tabelle 1:

x-Werte von A in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l

<u>l in mm</u>	<u>x-Wert von A in mm</u>
1	100,245
2	100,479
3	100,703
4	100,916
5	101,119
6	101,311

Tabelle 2:

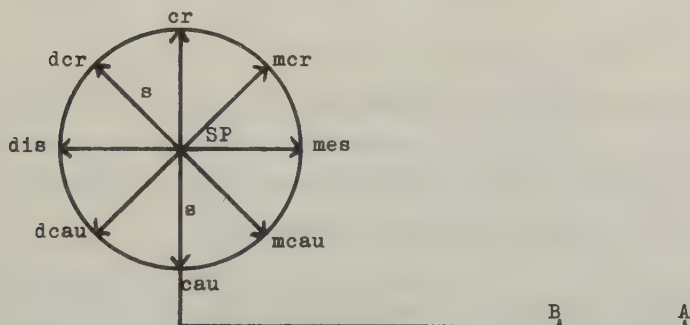
y-Werte von B in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l

<u>l in mm</u>	<u>y-Wert von B in mm</u>
1	-24,250
2	-23,499
3	-22,749
4	-21,998
5	-21,248
6	-20,498

Berechnung der verschiedenen x-Werte von A" und y-Werte von B" in Abhängigkeit von der Desorientierung des Artikulator-drehpunktes, wenn die Öffnungsweite $l = 1 \text{ mm}$

Die Abweichung des Artikulatordrehpunktes SA wird charakterisiert durch das Ausmaß s und die Richtung.

Abb. 13:



Die Artikulatordrehpunkte liegen auf einem Kreis um SP mit dem Radius s . Folgende in der Abbildung gekennzeichneten Abweichrichtungen werden durchgerechnet:

mes = mesial, mcr = mesiocranial, cr = cranial,
der = distocranial, dis = distal, dcau = distocaudal,
cau = caudal, mcau = mesiocaudal.

a' und b' sind geometrisch gesehen bei der Desorientierung des Artikulatordrehpunktes die veränderlichen Größen in Abhängigkeit von s und der Abweichrichtung (s. Abb. 12).

a) Berechnung der x-Werte von A'', wenn l = 1 mm

1) Kreis um SA durch A':

$$x^2 + y^2 = a'^2 + b'^2$$

$$x^2 = a'^2 + b'^2 - y^2$$

2) Einsetzen von y von A'' = - b' + 1

$$x\text{-Wert von A''} = + \sqrt{a'^2 + 2 b' - 1}$$

b) Berechnung der y-Werte von B'', wenn l = 1 mm

1. geometrischer Ort für B'':

Kreis um SA durch B'

$$x^2 + y^2 = b'^2 + (a' - 25)^2$$

2. geometrischer Ort für B'':

Kreis um A'' mit dem Radius $\overline{AB} = 25$ mm

$$(x - \sqrt{a'^2 + 2 b' - 1})^2 + (y + b' - 1)^2 = 25^2$$

Der Schnittpunkt beider Kreise ist B''.

Es läßt sich folgende Gleichung aufstellen, in die die verschiedenen Werte für a' und b' in Abhängigkeit von der Lage des Artikulatordrehpunktes eingesetzt und somit die y-Werte von B'' ausgerechnet werden können:

$$y^2 + 2y \cdot \frac{b' [b'^2 - b' + a'(a' - 25)] - a'(a' - 25)}{a'^2 + b'^2} =$$

$$2b' - b'^2 - 1 + \frac{b'(1250 - 100a') + 50a'(1 + b'^2) - 625}{a'^2 + b'^2}$$

Man braucht für die übrigen Öffnungsweiten keine neuen Gleichungen aufstellen, da zwischen der Öffnungsweite l und dem Ausmaß des Sperrens bei B bei geringer Bißöffnung eine annähernd lineare Beziehung besteht (s. Tabelle 2); d. h. aus

dem y-Wert für B" bei $l = 1 \text{ mm}$ lassen sich die y-Werte für B" bei den verschiedenen Sperrweiten im Bereich der Front ermitteln.

Ergebnisse bei parallelen Drehachsenänderungen

Nach der Durchführung der Koordinatentransformation für die x-Werte von A" und die y-Werte von B" können die Punkte A und A", wie B und B" verglichen werden.

$dx = \text{x-Wert von A} - \text{x-Wert von A"}$ (Vgl. Abb. 12)

dx entspricht der sagittalen Fehleinstellung des Unterkiefermodells im Artikulator.

Wenn $dx > 0$, so wird das Unterkiefermodell in distaler Richtung desorientiert;

wenn $dx < 0$; so wird das Unterkiefermodell in mesialer Richtung desorientiert.

$dy = \text{y-Wert von B} - \text{y-Wert von B"}$ (vgl. Abb. 12)

dy entspricht dem Ausmaß des Sperrens der Zahnreihen im distalen (B) oder mesialen (A) Bereich.

Wenn $dy < 0$, so sperren die Zahnreihen im Artikulator distal;

wenn $dy > 0$, so sperren die Zahnreihen mesial.

In der Tabelle 3 sind die Werte für dx , in der Tabelle 4 die Werte für dy in Abhängigkeit von der Richtung und dem Ausmaß der Drehpunktabweichung und der Öffnungsweite l zusammengestellt. Alle Zahlen werden in mm angegeben. Die Ergebnisse sind auf $1/1000 \text{ mm}$ auf- oder abgerundet.

Tabelle 3:

Werte für dx (sagittaler okklusaler Fehler)

Abweich- richtung	1	s = 2,5	s = 5	s = 10	s = 15
mes	1	-0,006	-0,013	-0,027	-0,043
	2	-0,012	-0,025	-0,053	-0,084
	3	-0,017	-0,036	-0,077	-0,122
	4	-0,023	-0,047	-0,100	-0,160
	5	-0,028	-0,058	-0,122	-0,194
	6	-0,033	-0,068	-0,144	-0,228
mcr	1	-0,022	-0,045	-0,095	-0,150
	2	-0,044	-0,090	-0,187	-0,293
	3	-0,066	-0,134	-0,278	-0,436
	4	-0,088	-0,178	-0,369	-0,577
	5	-0,109	-0,221	-0,459	-0,716
	6	-0,130	-0,264	-0,547	-0,854
cr	1	-0,025	-0,050	-0,099	-0,149
	2	-0,050	-0,099	-0,199	-0,297
	3	-0,075	-0,148	-0,298	-0,445
	4	-0,099	-0,198	-0,396	-0,593
	5	-0,124	-0,247	-0,493	-0,740
	6	-0,148	-0,296	-0,589	-0,885
der	1	-0,013	-0,026	-0,052	-0,072
	2	-0,026	-0,052	-0,101	-0,145
	3	-0,039	-0,078	-0,150	-0,219
	4	-0,053	-0,104	-0,201	-0,294
	5	-0,067	-0,131	-0,253	-0,369
	6	-0,081	-0,158	-0,306	-0,445
dis	1	+0,006	+0,012	+0,022	+0,032
	2	+0,012	+0,023	+0,043	+0,062
	3	+0,017	+0,033	+0,064	+0,092
	4	+0,022	+0,043	+0,083	+0,119
	5	+0,027	+0,053	+0,101	+0,145
	6	+0,031	+0,062	+0,118	+0,169
dcau	1	+0,022	+0,042	+0,082	+0,125
	2	+0,043	+0,084	+0,163	+0,241
	3	+0,064	+0,126	+0,244	+0,356
	4	+0,085	+0,167	+0,323	+0,470
	5	+0,105	+0,207	+0,401	+0,584
	6	+0,125	+0,246	+0,478	+0,697
cau	1	+0,025	+0,050	+0,100	+0,150
	2	+0,050	+0,100	+0,200	+0,300
	3	+0,075	+0,150	+0,299	+0,449
	4	+0,099	+0,199	+0,398	+0,597
	5	+0,124	+0,248	+0,496	+0,745
	6	+0,148	+0,296	+0,594	+0,892
mcau	1	+0,014	+0,028	+0,057	+0,090
	2	+0,028	+0,056	+0,115	+0,181
	3	+0,041	+0,084	+0,174	+0,272
	4	+0,055	+0,112	+0,233	+0,364
	5	+0,069	+0,140	+0,292	+0,457
	6	+0,083	+0,169	+0,352	+0,551

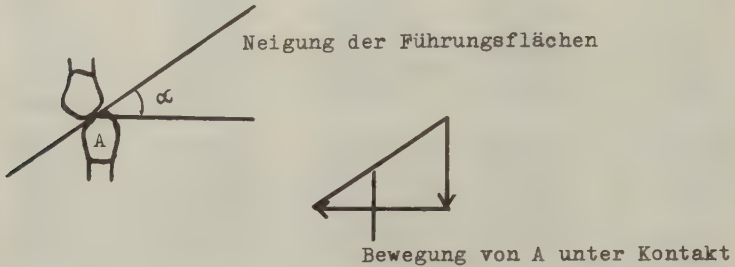
Tabelle 4:

Werte für dy (vertikaler okklusaler Fehler)

Abweich- richtung	1	s = 2,5	s = 5	s = 10	s = 15
mes	1	-0,007	-0,014	-0,028	-0,042
	2	-0,014	-0,028	-0,056	-0,083
	3	-0,021	-0,042	-0,083	-0,125
	4	-0,028	-0,056	-0,111	-0,167
	5	-0,035	-0,070	-0,139	-0,209
	6	-0,041	-0,083	-0,167	-0,250
mcr	1	-0,005	-0,010	-0,020	-0,029
	2	-0,010	-0,020	-0,039	-0,059
	3	-0,015	-0,029	-0,059	-0,088
	4	-0,020	-0,039	-0,079	-0,118
	5	-0,025	-0,049	-0,099	-0,147
	6	-0,029	-0,059	-0,118	-0,176
cr	1	0,000	0,000	0,000	0,000
	2	0,000	0,000	0,000	0,000
	3	0,000	0,000	0,000	0,000
	4	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	0,000	0,000	0,000	0,000
	6	0,000	0,000	0,000	0,000
dcr	1	+0,004	+0,008	+0,016	+0,024
	2	+0,008	+0,016	+0,032	+0,048
	3	+0,012	+0,024	+0,048	+0,071
	4	+0,016	+0,032	+0,064	+0,095
	5	+0,020	+0,040	+0,080	+0,119
	6	+0,024	+0,047	+0,095	+0,143
dis	1	+0,006	+0,011	+0,023	+0,034
	2	+0,011	+0,022	+0,045	+0,067
	3	+0,017	+0,034	+0,068	+0,101
	4	+0,022	+0,045	+0,090	+0,135
	5	+0,028	+0,056	+0,113	+0,169
	6	+0,034	+0,067	+0,135	+0,202
dcau	1	+0,004	+0,008	+0,016	+0,024
	2	+0,008	+0,016	+0,032	+0,048
	3	+0,012	+0,024	+0,048	+0,071
	4	+0,016	+0,032	+0,064	+0,095
	5	+0,020	+0,040	+0,080	+0,119
	6	+0,024	+0,047	+0,095	+0,143
cau	1	0,000	0,000	0,000	0,000
	2	0,000	0,000	0,000	0,000
	3	0,000	0,000	0,000	0,000
	4	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	0,000	0,000	0,000	0,000
	6	0,000	0,000	0,000	0,000
mcau	1	-0,005	-0,010	-0,020	-0,029
	2	-0,010	-0,020	-0,039	-0,059
	3	-0,015	-0,029	-0,059	-0,088
	4	-0,020	-0,039	-0,079	-0,118
	5	-0,025	-0,049	-0,099	-0,147
	6	-0,029	-0,059	-0,118	-0,176

Abb. 14:

Folgen der sagittalen Desorientierung des Modells im Artikulator



(Diese Situation kann auf alle anderen Antagonistenpaare übertragen werden)

Bei einer sagittalen Verschiebung des Kontaktpunktes (hier z. B. A nach distal) läßt sich diese Bewegung in eine vertikale und eine horizontale Komponente zerlegen, d. h. die sagittale Desorientierung des Modells hat Folgen auf die vertikale Fehleinstellung. Ihr Ausmaß ist abhängig von der Neigung der Führungsflächen. Dies gilt also nicht für das Abrasionsgebiß.

Die aus der sagittalen Lageänderung resultierende vertikale Fehleinstellung läßt sich mit folgender trigonometrischen Gleichung berechnen:

$dy' =$ vertikaler Fehler des Primärkontakts

$$= \frac{dx}{\operatorname{ctg} \alpha}$$

$\alpha =$ Neigung der Führungsflächen

Als Folge vom vertikalen Fehler des Primärkontakts wird auch im gesperrten Bereich dy zu dy'' vergrößert.

$dy'' = dy + dy' =$ Gesamtausmaß des Sperrens im distalen oder mesialen Bereich

In der Tabelle 5 sind die Werte für dy' , in der Tabelle 6 die Werte für dy'' in Abhängigkeit von der Neigung der Führungsflächen α zusammengestellt.

α wird für 10° , 20° und 30° diskutiert.

Die Ergebnisse sind wieder auf 1/1000 mm auf- oder abgerundet.

In der Tabelle 6 wird zusätzlich der Ort des Sperrens durch A (mesial) und B (distal) gekennzeichnet. Bei cranialer und caudaler Abweichrichtung haben die Punkte A und B Kontakt.

Tabelle 5:

Werte für dy' (vertikaler okklusaler Fehler des Primärkontakts)

Abweich- richtung	1	α	s = 2,5	s = 5	s = 10	s = 15
mes	2	10°	0,002	0,004	0,009	0,015
	2	20°	0,004	0,009	0,019	0,031
	2	30°	0,007	0,014	0,031	0,049
	5	10°	0,005	0,010	0,022	0,034
	5	20°	0,010	0,021	0,044	0,071
	5	30°	0,016	0,034	0,071	0,112
mcr	2	10°	0,008	0,016	0,033	0,052
	2	20°	0,016	0,033	0,068	0,106
	2	30°	0,025	0,052	0,108	0,169
	5	10°	0,019	0,039	0,081	0,126
	5	20°	0,040	0,080	0,167	0,260
	5	30°	0,063	0,128	0,258	0,414
cr	2	10°	0,009	0,017	0,035	0,052
	2	20°	0,018	0,036	0,072	0,108
	2	30°	0,029	0,057	0,115	0,172
	5	10°	0,022	0,044	0,087	0,130
	5	20°	0,045	0,090	0,179	0,269
	5	30°	0,072	0,143	0,285	0,428
der	2	10°	0,005	0,009	0,018	0,026
	2	20°	0,009	0,019	0,037	0,053
	2	30°	0,015	0,030	0,058	0,084
	5	10°	0,012	0,023	0,045	0,065
	5	20°	0,024	0,048	0,092	0,134
	5	30°	0,039	0,076	0,146	0,213
dis	2	10°	0,002	0,004	0,008	0,011
	2	20°	0,004	0,008	0,016	0,028
	2	30°	0,007	0,013	0,025	0,036
	5	10°	0,005	0,009	0,018	0,026
	5	20°	0,010	0,019	0,037	0,053
	5	30°	0,016	0,031	0,058	0,084
deau	2	10°	0,008	0,015	0,029	0,043
	2	20°	0,016	0,031	0,059	0,088
	2	30°	0,025	0,049	0,094	0,139
	5	10°	0,019	0,037	0,071	0,103
	5	20°	0,038	0,075	0,146	0,212
	5	30°	0,061	0,120	0,232	0,338
eau	2	10°	0,009	0,018	0,035	0,053
	2	20°	0,018	0,036	0,073	0,109
	2	30°	0,029	0,058	0,116	0,173
	5	10°	0,022	0,044	0,088	0,131
	5	20°	0,045	0,090	0,180	0,271
	5	30°	0,072	0,143	0,287	0,430
meau	2	10°	0,005	0,010	0,020	0,032
	2	20°	0,010	0,022	0,042	0,066
	2	30°	0,016	0,032	0,067	0,105
	5	10°	0,012	0,025	0,052	0,081
	5	20°	0,025	0,051	0,106	0,166
	5	30°	0,040	0,081	0,169	0,264

Tabelle 6:

Werte für $\Delta y''$ (gesamter vertikaler okklusaler Fehler)

Abweich- richtung	l	α	s = 2,5	s = 5	s = 10	s = 15
mes	2	10°	BO,016	BO,032	BO,065	BO,098
	2	20°	BO,018	BO,037	BO,075	BO,114
	2	30°	BO,021	BO,042	BO,087	BO,132
	5	10°	BO,040	BO,080	BO,161	BO,243
	5	20°	BO,045	BO,091	BO,183	BO,280
	5	30°	BO,051	BO,104	BO,210	BO,321
mcr	2	10°	BO,018	BO,036	BO,072	BO,111
	2	20°	BO,026	BO,053	BO,107	BO,165
	2	30°	BO,035	BO,072	BO,147	BO,228
	5	10°	BO,044	BO,088	BO,180	BO,273
	5	20°	BO,065	BO,129	BO,266	BO,407
	5	30°	BO,088	BO,177	BO,357	BO,561
cr	2	10°	ABO,009	ABO,017	ABO,035	ABO,052
	2	20°	ABO,018	ABO,036	ABO,072	ABO,108
	2	30°	ABO,029	ABO,057	ABO,115	ABO,172
	5	10°	ABO,022	ABO,044	ABO,087	ABO,130
	5	20°	ABO,045	ABO,090	ABO,179	ABO,269
	5	30°	ABO,072	ABO,143	ABO,285	ABO,428
dcr	2	10°	AO,013	AO,025	AO,050	AO,074
	2	20°	AO,017	AO,035	AO,069	AO,101
	2	30°	AO,023	AO,046	AO,090	AO,132
	5	10°	AO,032	AO,063	AO,125	AO,184
	5	20°	AO,044	AO,088	AO,172	AO,253
	5	30°	AO,059	AO,116	AO,226	AO,332
dis	2	10°	AO,013	AO,026	AO,053	AO,078
	2	20°	AO,015	AO,030	AO,061	AO,095
	2	30°	AO,018	AO,035	AO,070	AO,103
	5	10°	AO,033	AO,065	AO,131	AO,195
	5	20°	AO,038	AO,075	AO,150	AO,222
	5	30°	AO,044	AO,087	AO,171	AO,253
dcau	2	10°	AO,016	AO,031	AO,061	AO,091
	2	20°	AO,024	AO,047	AO,091	AO,136
	2	30°	AO,033	AO,065	AO,126	AO,187
	5	10°	AO,039	AO,077	AO,151	AO,222
	5	20°	AO,058	AO,115	AO,226	AO,331
	5	30°	AO,081	AO,160	AO,312	AO,457
cau	2	10°	ABO,009	ABO,018	ABO,035	ABO,053
	2	20°	ABO,018	ABO,036	ABO,073	ABO,109
	2	30°	ABO,029	ABO,058	ABO,116	ABO,173
	5	10°	ABO,022	ABO,044	ABO,088	ABO,131
	5	20°	ABO,045	ABO,090	ABO,180	ABO,271
	5	30°	ABO,072	ABO,143	ABO,287	ABO,430
mcau	2	10°	BO,015	BO,030	BO,059	BO,091
	2	20°	BO,020	BO,042	BO,081	BO,125
	2	30°	BO,026	BO,052	BO,106	BO,164
	5	10°	BO,037	BO,074	BO,151	BO,228
	5	20°	BO,050	BO,100	BO,205	BO,313
	5	30°	BO,065	BO,130	BO,268	BO,411

Auswertung der okklusalen Fehler bei parallelen Drehachsen- änderungen

1. Zeichnerische Darstellung der okklusalen Fehler in Ab- hängigkeit von der Abweichrichtung

ad Abb. 15, 16, 17:

Für jede Kurve gilt eine bestimmte Parameterkonstellation, d. h. die Öffnungsweite l und die Drehpunktdesorientierung s bleiben für eine Kurve konstant; nur die Abweichrichtung ändert sich.

Der Abstand von SP bis zur Kurve gibt für eine bestimmte Richtung jeweils die Größe des okklusalen Fehlers an, der bei dieser Abweichrichtung auftritt. Man kann an Hand der Kurven ablesen, welche Abweichrichtungen maximale oder minimale Werte für dx , dy oder dy'' bedingen (s. Tabelle 3, 4 und 6).

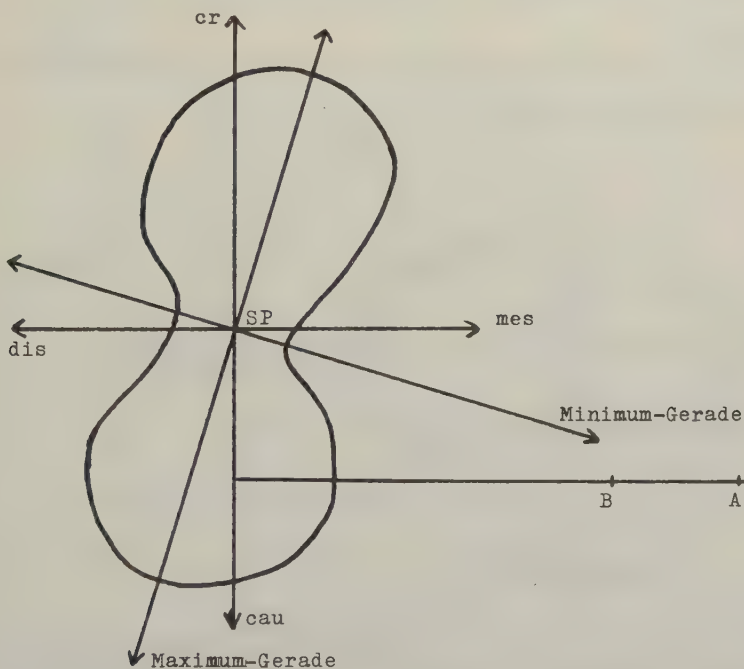
ad Abb. 15:

Die Gerade der minimalen Modellfehleinstellung fällt ziemlich genau mit der Strecke von SP nach A zusammen. Die Gerade der maximalen Fehleinstellung steht auf dieser senkrecht.

Bei Abweichrichtungen oberhalb der Minimum-Geraden wird das Unterkiefermodell nach mesial versetzt, bei Abweichrichtungen unterhalb der Minimum-Geraden nach distal.

Abb. 15:

Darstellung von dx (sagittaler okklusaler Fehler) in Abhängigkeit von der Abweichrichtung



ad Abb. 16:

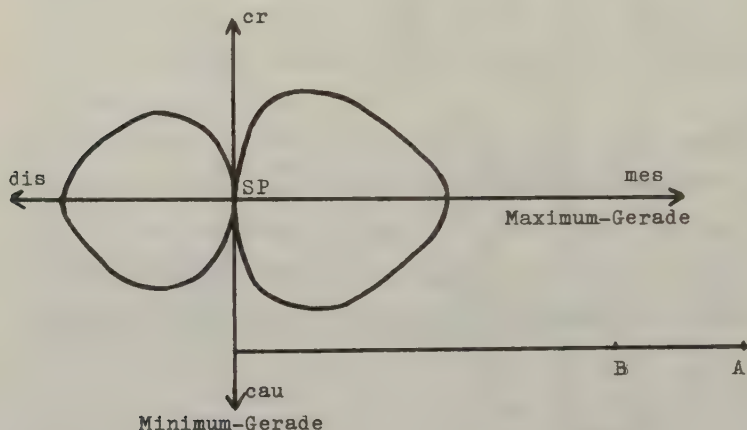
Bei cranialer und caudaler Abweichrichtung erhält man zwar für dx annähernd die größten Werte; es kommt jedoch nicht zum Sperren der Zahnreihen. Vertikale Fehleinstellungen des Unterkiefermodells treten dann nur in Verbindung mit steilen Führungsflächen auf (dy').

Die Maximum-Gerade verläuft wieder senkrecht zur Minimum-Gerade, also in mesio-distaler Richtung. Mesiale Drehpunktbesorientierungen verursachen die größten okklusalen Fehler dy .

Bei Abweichrichtungen rechts der Minimum-Geraden sperren die Zahnreihen distal, bei Abweichungen links der Minimum-Geraden mesial.

Abb. 16:

Darstellung von dy (Sperren der Zahnreihen) in Abhängigkeit von der Abweichrichtung



ad Abb. 17:

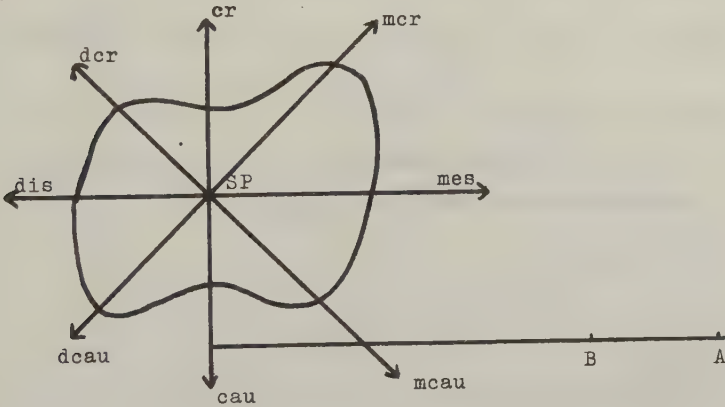
Es handelt sich bei diesen Kurven um parallelogrammähnliche Figuren. Bei geringer Neigung der Führungsflächen macht sich vor allem das Christensen'sche Phänomen (dy) bemerkbar, d. h. die mesio-distale Parallelogrammausdehnung wird größtmäßig bevorzugt (s. Abb. 16)

Wenn die Steilheit der Führungsflächen zunimmt und sich somit die Folgen der sagittalen Fehleinstellung dx stärker auswirken, kommt es zu einer Formänderung des Parallelogramms, wobei immer mehr die cranio-caudale Ausdehnung zur Geltung kommt (s. Abb. 15).

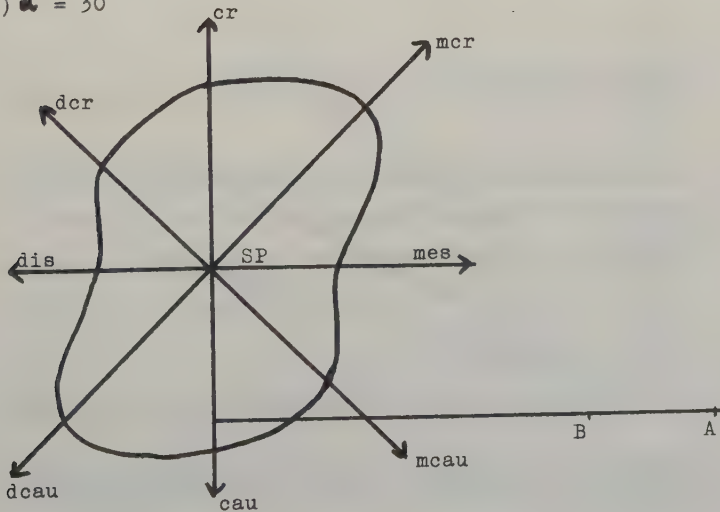
Abb. 17:

Darstellung von dy'' (gesamter vertikaler okklusaler Fehler unter Berücksichtigung des sagittalen Fehlers dx) in Abhängigkeit von der Abweichrichtung und der Neigung der Führungsflächen α

a) $\alpha = 10^\circ$



b) $\alpha = 30^\circ$

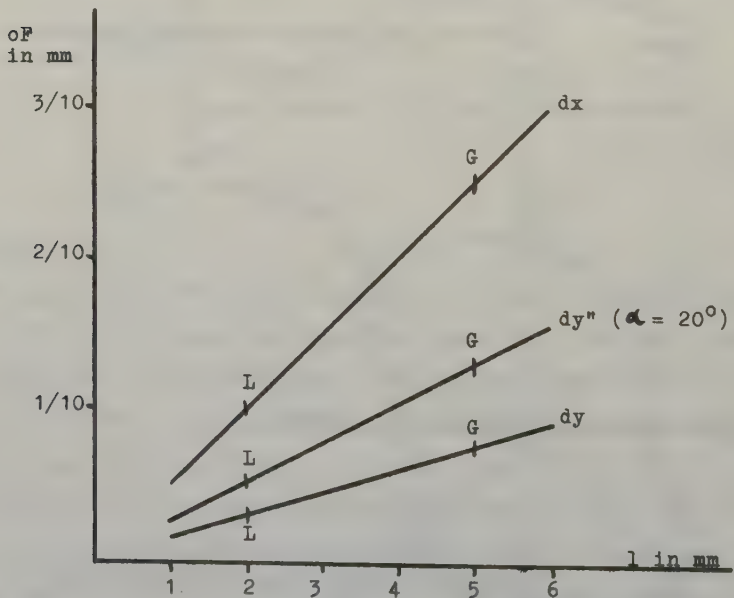


2. Zeichnerische Darstellung der maximalen okklusalen Fehler σ_F in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l und der Drehpunktabweichung s

Abb. 18:

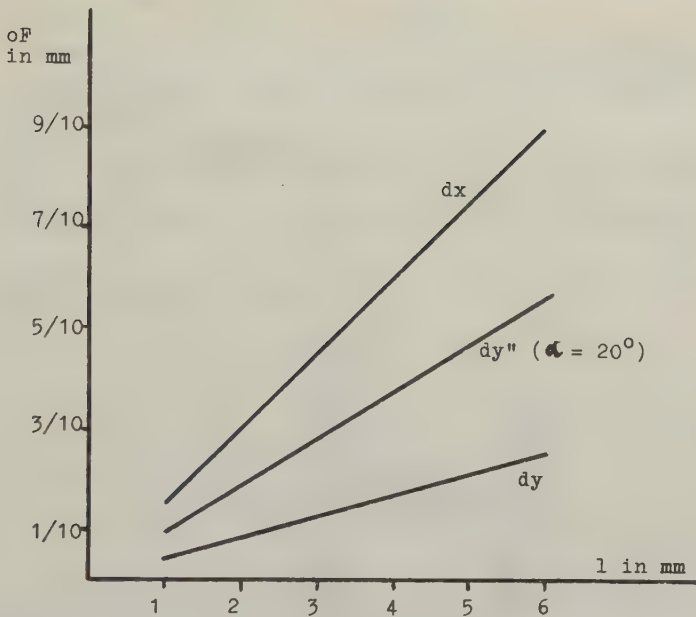
Darstellung der maximalen okklusalen Fehler, wenn $s = 5 \text{ mm}$ (dies entspricht der Drehachsenbestimmung mit dem arbiträren Gesichtsbogen) und wenn $s = 15 \text{ mm}$ (dies entspricht etwa den größten Drehachsendesorientierungen bei Laborarbeiten), in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l .

a) $s = 5 \text{ mm}$



Die Punkte L sollen für die "Lauritzen-Technik" gelten ($l = \text{ca. } 2 \text{ mm}$), die Punkte G für die "Gerber-Methode" ($l = \text{ca. } 5 \text{ mm}$).

b) $s = 15 \text{ mm}$



Betrachtung von nicht parallelen Drehachsenänderungen

A) Die Drehachse wird in der Horizontalebene verstellt

Dieser Fehler tritt besonders dann auf, wenn Modelle unkontrolliert in den Artikulator eingesetzt werden (vgl. Abb. 7 mit Text).

s = sagittale Differenz der Drehachsenpunkte SA_R und SA_L
(Ausmaß der einseitigen Gelenkverschiebung)

t = Ausmaß der Modellverdrehung in Relation zur Artikulator-
drehachse $SA_R SA_L$, d. h. ein Punkt im Seitenzahnbereich
ist um die Strecke t im Vergleich zu einem entsprechen-
den Punkt der Gegenseite in sagittaler Richtung desorien-
tiert.

Entsprechend dem Strahlensatz gilt:

s = ca. 3 · t für den Bereich A

s = ca. 2 · t für den Bereich B

s = 2,5 mm entspricht: t = ca. 1 mm

s = 5 mm entspricht: t = ca. 2 mm

s = 10 mm entspricht: t = ca. 4 mm

Zur Berechnung von dx (sagittaler okklusaler Fehler) und dy
(vertikaler okklusaler Fehler):

Hier läßt sich der Berechnungsmodus bei parallelen Drehachsen-
änderungen wieder anwenden. Die veränderliche Größe ist a,
denn a_R wird zu a'_R und a_L zu a'_L (s. S. 29 und 30).

Die Berechnungen müssen für die einzelnen Punkte A_R , A_L , B_R
und B_L getrennt erfolgen.

Zur Berechnung von dz (transversaler okklusaler Fehler):

Da a'_R und a'_L nicht mehr genau in sagittaler Richtung ver-
laufen (s. Abb. 19), kommt es zusätzlich zu einer transver-
salen Fehleinstellung des Unterkiefermodells.

Das Ausmaß dieses transversalen okklusalen Fehlers dz der Punkte A" und B" ist abhängig von der x-Strecke $s_{Aod.B}$, die diese Punkte beim Schließen zurücklegen.

x_A (x-Strecke von A beim Schließen) kann man für die verschiedenen Öffnungsweiten l' bei der Registrierung der Tabelle 1 entnehmen, indem man von jeder Zahl 100 mm (Strecke a) abzieht.

x_B (x-Strecke von B beim Schließen) muß gesondert berechnet werden. In Analogie zur S. 27 werden dazu die x-Werte von B benötigt.

Unter Verwendung des geometrischen Strahlensatzes läßt sich folgende Gleichung für dz aufstellen:

$$\frac{dz}{x_{Aod.B}} = \frac{s}{s_r s_l}$$

$$dz = \frac{s \cdot x_{Aod.B}}{s_r s_l}$$

Zur Berechnung von dy' (vertikaler okklusaler Fehler des Primärkontakts) und dy'' (gesamter vertikaler okklusaler Fehler):

Die sagittalen und transversalen okklusalen Fehler verursachen in Abhängigkeit von der Neigung der Führungsflächen α auch eine vertikale Fehleinstellung des Unterkiefermodells (s. Abb. 14 und Text). Dieser Fehler ist dy' .

$dy'' = dy + dy' =$ gesamter vertikaler okklusaler Fehler in Abhängigkeit von der Neigung der Führungsflächen α .

2. Ergebnisse, wenn die Drehachse in der Horizontalebene verstellt wird

In den Tabellen 7 - 10 sind die verschiedenen okklusalen Fehler für die einzelnen Punkte A''_r , A''_l , B''_r und B''_l in Abhängigkeit von der einseitigen Gelenkverschiebung s , der Öffnungsweite l und der Neigung der Führungsflächen zusammengestellt.

Bei dy'' wurden nur die Öffnungsweiten $l = 2$ und 5 mm berechnet.

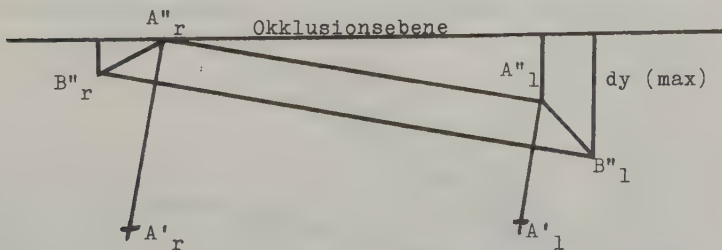
Alle Werte sind in mm angegeben. Die Zahlenergebnisse sind auf $1/1000$ mm auf- oder abgerundet.

Aus den Zahlenwerten der Tabellen 7 - 10 läßt sich die Fehleinstellung des Unterkiefermodells im Artikulator bei Primärkontakt rekonstruieren.

Abb. 20:

Frontalansicht

(Die Zeichnung ist zur besseren Verdeutlichung nicht maßstabsgetreu)



ad Abb. 20:

A''_r hat Primärkontakt, d. h. der Primärkontakt liegt immer im mesialen Kontaktbereich auf der Seite, auf der der Scharnierachsenpunkt SA weiter mesial steht.

Der maximale vertikale okklusale Fehler dy liegt dann auf der Gegenseite im distalen Kontaktbereich.

Desorientierungsrichtung der Kontaktpunkte, wenn SA_r weiter mesial liegt:

A''_r und B''_r : mesial und links

A''_l und B''_l : distal und links

Abb. 21:

Darstellung der maximalen okklusalen Fehler oF in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l , wenn die einseitige Gelenkverschiebung $s = 5$ mm

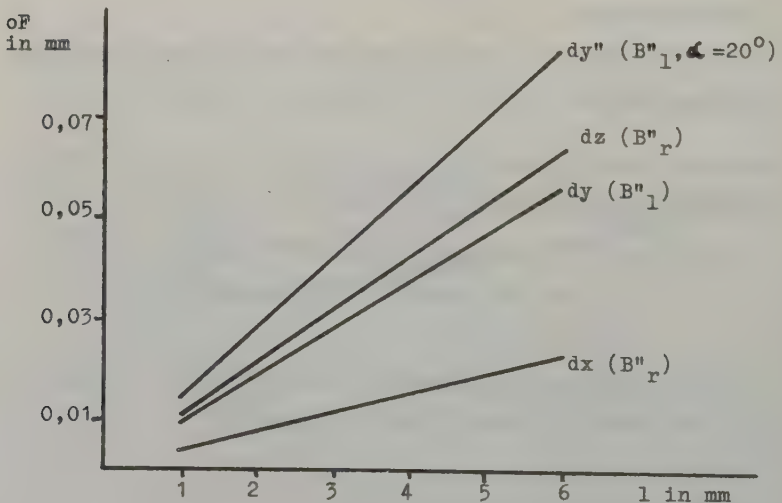


Tabelle 7:

Werte für die okklusalen Fehler von A_r"

s	l	dx	dy	dz	dy" $\alpha = 10^\circ$	dy" $\alpha = 20^\circ$	dy" $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,001	0,000	0,006	-	-	-
	2	0,002	0,000	0,011	0,002	0,005	0,008
	3	0,003	0,000	0,016	-	-	-
	4	0,004	0,000	0,021	-	-	-
	5	0,005	0,000	0,025	0,005	0,011	0,017
	6	0,006	0,000	0,030	-	-	-
5	1	0,002	0,000	0,011	-	-	-
	2	0,004	0,000	0,022	0,005	0,009	0,015
	3	0,006	0,000	0,032	-	-	-
	4	0,008	0,000	0,042	-	-	-
	5	0,010	0,000	0,051	0,011	0,022	0,035
	6	0,012	0,000	0,060	-	-	-
10	1	0,005	0,000	0,023	-	-	-
	2	0,010	0,000	0,044	0,010	0,020	0,031
	3	0,014	0,000	0,065	-	-	-
	4	0,019	0,000	0,085	-	-	-
	5	0,023	0,000	0,104	0,022	0,046	0,073
	6	0,027	0,000	0,122	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy" = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 8:

Werte für die okklusalen Fehler von A''_1

s	l	dx	dy	dz	dy'' $\alpha = 10^\circ$	dy'' $\alpha = 20^\circ$	dy'' $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,001	0,002	0,006	-	-	-
	2	0,002	0,004	0,011	0,006	0,009	0,012
	3	0,003	0,006	0,016	-	-	-
	4	0,004	0,008	0,021	-	-	-
	5	0,004	0,009	0,025	0,014	0,020	0,026
	6	0,005	0,011	0,030	-	-	-
5	1	0,002	0,004	0,011	-	-	-
	2	0,004	0,008	0,022	0,013	0,017	0,023
	3	0,005	0,011	0,032	-	-	-
	4	0,007	0,015	0,041	-	-	-
	5	0,009	0,019	0,050	0,030	0,041	0,054
	6	0,010	0,022	0,059	-	-	-
10	1	0,003	0,008	0,022	-	-	-
	2	0,006	0,016	0,043	0,026	0,036	0,047
	3	0,009	0,023	0,063	-	-	-
	4	0,012	0,031	0,082	-	-	-
	5	0,015	0,038	0,100	0,060	0,084	0,111
	6	0,017	0,045	0,118	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy'' = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 9:

Werte für die okklusalen Fehler von B" _r

s	l	dx	dy	dz	dy" $\alpha = 10^\circ$	dy" $\alpha = 20^\circ$	dy" $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,002	0,001	0,006	-	-	-
	2	0,003	0,003	0,011	0,005	0,008	0,011
	3	0,005	0,004	0,016	-	-	-
	4	0,007	0,005	0,021	-	-	-
	5	0,009	0,006	0,026	0,011	0,017	0,023
	6	0,011	0,007	0,031	-	-	-
5	1	0,003	0,003	0,011	-	-	-
	2	0,007	0,005	0,022	0,010	0,014	0,020
	3	0,011	0,008	0,033	-	-	-
	4	0,014	0,011	0,043	-	-	-
	5	0,018	0,014	0,053	0,025	0,036	0,049
	6	0,022	0,016	0,062	-	-	-
10	1	0,007	0,006	0,023	-	-	-
	2	0,015	0,012	0,045	0,022	0,032	0,043
	3	0,023	0,018	0,067	-	-	-
	4	0,031	0,024	0,088	-	-	-
	5	0,039	0,030	0,108	0,052	0,076	0,103
	6	0,047	0,035	0,127	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy" = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 10:

Werte für die okklusalen Fehler von B''₁

s	l	dx	dy	dz	dy'' $\alpha = 10^\circ$	dy'' $\alpha = 20^\circ$	dy'' $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,002	0,005	0,006	-	-	-
	2	0,003	0,009	0,011	0,011	0,014	0,017
	3	0,005	0,014	0,016	-	-	-
	4	0,007	0,019	0,021	-	-	-
	5	0,008	0,023	0,026	0,028	0,034	0,040
	6	0,010	0,028	0,031	-	-	-
5	1	0,003	0,009	0,011	-	-	-
	2	0,006	0,018	0,022	0,023	0,027	0,033
	3	0,009	0,028	0,032	-	-	-
	4	0,012	0,037	0,042	-	-	-
	5	0,015	0,047	0,052	0,058	0,069	0,082
	6	0,019	0,057	0,061	-	-	-
10	1	0,005	0,018	0,022	-	-	-
	2	0,011	0,038	0,043	0,048	0,058	0,069
	3	0,017	0,058	0,063	-	-	-
	4	0,023	0,078	0,083	-	-	-
	5	0,030	0,099	0,102	0,121	0,145	0,172
	6	0,036	0,118	0,120	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy'' = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

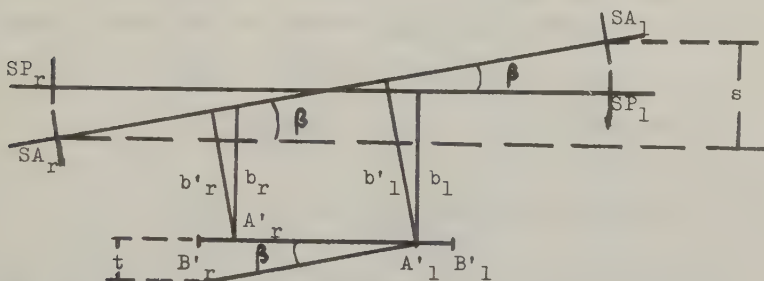
B) Die Drehachse wird in der Vertikalebene verstellt

Dieser Fehler tritt dann auf, wenn die Modelle in Relation zur Patientendrehachse um eine sagittale Achse gekippt werden (vgl. Abb. 6 mit Text).

1. Methodik der Berechnung

Abb.: 22:

Frontalansicht



Die Patientenrotationsachse $SP_r SP_l$ bildet mit der Artikulatordrehachse $SA_r SA_l$ wieder den Winkel β .

Der Patient hat bereits um die Achse $SP_r SP_l$ geöffnet.

Die Punkte A_r, A_l, B_r und B_l wurden zu A'_r, A'_l, B'_r und B'_l .

Im Artikulator wird b_r zu b'_r und b_l zu b'_l . a (infolge der Frontalsicht nicht darstellbar) ändert sich nicht.

Beim Schließen der Zahnreihen um $SA_r SA_l$ werden die Punkte A'_r, A'_l, B'_r und B'_l zu A''_r, A''_l, B''_r und B''_l .

s = vertikale Differenz der Drehachsenpunkte SA_r und SA_l
(Ausmaß der einseitigen Gelenkverschiebung)

t = Ausmaß der Modellkipfung in Relation zur Artikulator-
drehachse SA_rSA_l , d. h. ein Punkt im Seitenzahnbereich
ist um die Strecke t im Vergleich zu einem entsprechen-
den Punkt der Gegenseite in vertikaler Richtung des-
orientiert.

Entsprechend dem Strahlensatz gilt:

$s = \text{ca. } 3 \cdot t$ für den Bereich A

$s = \text{ca. } 2 \cdot t$ für den Bereich B

$s = 2,5 \text{ mm}$ entspricht: $t = \text{ca. } 1 \text{ mm}$

$s = 5 \text{ mm}$ entspricht: $t = \text{ca. } 2 \text{ mm}$

$s = 10 \text{ mm}$ entspricht: $t = \text{ca. } 4 \text{ mm}$ (vgl. S. 45)

Zur Berechnung von dx (sagittaler okklusaler Fehler) und dy
(vertikaler okklusaler Fehler):

Auch hier läßt sich der Berechnungsmodus bei parallelen Dreh-
achsenänderungen anwenden. Die veränderliche Größe ist b ,
denn b_r wird zu b'_r und b_l zu b'_l (s. S. 29 und 30).

Wie bei der Verstellung der Drehachse in der Horizontalebene
müssen die Berechnungen für die einzelnen Punkte A_r , A_l , B_r
und B_l getrennt erfolgen.

Zur Berechnung von dz (transversaler okklusaler Fehler):

Da b'_r und b'_l nicht mehr genau in vertikaler Richtung ver-
laufen (s. Abb. 22), kommt es wieder zusätzlich zu einer
transversalen Fehleinstellung des Unterkiefermodells.

Das Ausmaß dieses transversalen okklusalen Fehlers dz der Punkte A" und B" ist abhängig von der y-Strecke $y_{Aod.B}$, die diese Punkte beim Schließen zurücklegen.

y_A (y-Strecke von A beim Schließen) entspricht der Öffnungsweite l im Bereich der Front.

y_B (y-Strecke von B beim Schließen) entspricht der Öffnungsweite im Bereich des 2. Molaren. Sie beträgt ca. $3/4 l$.

Unter Verwendung des geometrischen Strahlensatzes läßt sich folgende Gleichung für dz aufstellen:

$$\frac{dz}{y_{Aod.B}} = \frac{s}{s_r s_l}$$

$$dz = \frac{s \cdot y_{Aod.B}}{s_r s_l}$$

Die Berechnung von dy' (vertikaler okklusaler Fehler des Primärkontakts) und dy'' (gesamter vertikaler okklusaler Fehler) erfolgt wie bei der Verstellung der Drehachse in der Horizontalebene.

2. Ergebnisse, wenn die Drehachse in der Vertikalebene ver- stellt wird

In den Tabellen 11 - 14 sind wieder die verschiedenen okklusalen Fehler für die einzelnen Punkte A''_r , A''_l , B''_r und B''_l in Abhängigkeit von der einseitigen Gelenkverschiebung s , der Öffnungsweite l und der Neigung der Führungsflächen α zusammengestellt.

Alle Werte sind wieder in mm angegeben und auf $1/1000$ mm auf- oder abgerundet.

Tabelle 11:

Werte für die okklusalen Fehler von A''_r

s	l	dx	dy	dz	dy'' α=10°	dy'' α=20°	dy'' α=30°
2,5	1	0,004	0,008	0,023	-	-	-
	2	0,009	0,018	0,046	0,028	0,038	0,050
	3	0,013	0,026	0,068	-	-	-
	4	0,018	0,035	0,091	-	-	-
	5	0,022	0,043	0,114	0,067	0,092	0,121
	6	0,026	0,051	0,136	-	-	-
5	1	0,009	0,017	0,045	-	-	-
	2	0,018	0,035	0,091	0,054	0,074	0,098
	3	0,027	0,052	0,136	-	-	-
	4	0,036	0,069	0,182	-	-	-
	5	0,044	0,085	0,227	0,132	0,182	0,240
	6	0,053	0,103	0,273	-	-	-
10	1	0,018	0,034	0,091	-	-	-
	2	0,036	0,068	0,182	0,106	0,146	0,192
	3	0,054	0,102	0,273	-	-	-
	4	0,072	0,136	0,364	-	-	-
	5	0,090	0,170	0,455	0,264	0,365	0,479
	6	0,108	0,204	0,546	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy'' = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 12:

Werte für die okklusalen Fehler von A₁"

s	l	dx	dy	dz	dy"	dy"	dy"
					$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,004	0,000	0,023	-	-	-
	2	0,009	0,000	0,046	0,010	0,020	0,032
	3	0,013	0,000	0,068	-	-	-
	4	0,017	0,000	0,091	-	-	-
	5	0,021	0,000	0,114	0,024	0,049	0,078
	6	0,025	0,000	0,136	-	-	-
5	1	0,008	0,000	0,045	-	-	-
	2	0,017	0,000	0,091	0,019	0,039	0,063
	3	0,025	0,000	0,136	-	-	-
	4	0,033	0,000	0,182	-	-	-
	5	0,041	0,000	0,227	0,047	0,097	0,155
	6	0,050	0,000	0,273	-	-	-
10	1	0,016	0,000	0,091	-	-	-
	2	0,032	0,000	0,182	0,038	0,078	0,124
	3	0,048	0,000	0,273	-	-	-
	4	0,064	0,000	0,364	-	-	-
	5	0,080	0,000	0,455	0,094	0,195	0,309
	6	0,096	0,000	0,546	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy" = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 13:

Werte für die okklusalen Fehler von B''_r

s	l	dx	dy	dz	dy'' $\alpha = 10^\circ$	dy'' $\alpha = 20^\circ$	dy'' $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,006	0,012	0,017	-	-	-
	2	0,011	0,022	0,034	0,032	0,042	0,054
	3	0,017	0,034	0,051	-	-	-
	4	0,023	0,045	0,068	-	-	-
	5	0,028	0,056	0,085	0,080	0,105	0,134
	6	0,034	0,067	0,102	-	-	-
5	1	0,012	0,023	0,034	-	-	-
	2	0,023	0,045	0,068	0,064	0,084	0,108
	3	0,035	0,068	0,102	-	-	-
	4	0,046	0,090	0,136	-	-	-
	5	0,058	0,113	0,170	0,160	0,210	0,268
	6	0,069	0,135	0,204	-	-	-
10	1	0,024	0,046	0,068	-	-	-
	2	0,047	0,090	0,136	0,128	0,168	0,214
	3	0,071	0,136	0,204	-	-	-
	4	0,094	0,180	0,273	-	-	-
	5	0,118	0,225	0,341	0,319	0,420	0,534
	6	0,141	0,269	0,409	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy'' = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Tabelle 14:

Werte für die okklusalen Fehler von B''_1

s	l	dx	dy	dz	dy'' $\alpha = 10^\circ$	dy'' $\alpha = 20^\circ$	dy'' $\alpha = 30^\circ$
2,5	1	0,006	0,000	0,017	-	-	-
	2	0,011	0,000	0,034	0,010	0,020	0,032
	3	0,017	0,000	0,051	-	-	-
	4	0,022	0,000	0,068	-	-	-
	5	0,028	0,000	0,085	0,024	0,049	0,078
	6	0,033	0,000	0,102	-	-	-
5	1	0,011	0,000	0,034	-	-	-
	2	0,022	0,000	0,068	0,019	0,039	0,063
	3	0,033	0,000	0,102	-	-	-
	4	0,044	0,000	0,136	-	-	-
	5	0,055	0,000	0,170	0,047	0,097	0,155
	6	0,066	0,000	0,204	-	-	-
10	1	0,022	0,000	0,068	-	-	-
	2	0,043	0,000	0,136	0,038	0,078	0,124
	3	0,065	0,000	0,204	-	-	-
	4	0,086	0,000	0,273	-	-	-
	5	0,107	0,000	0,341	0,094	0,195	0,309
	6	0,128	0,000	0,409	-	-	-

dx = sagittaler okklusaler Fehler

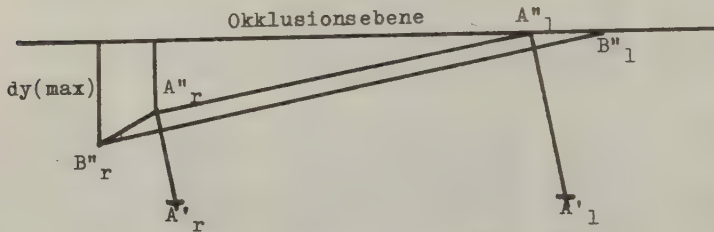
dy = vertikaler okklusaler Fehler

dz = transversaler okklusaler Fehler

dy'' = gesamter vertikaler okklusaler Fehler abhängig von
dx und dz

Aus den Zahlenwerten der Tabellen 11 - 14 läßt sich die Fehleinstellung des Unterkiefermodells im Artikulator bei Primärkontakt rekonstruieren.

Abb. 23:



A''_l und B''_l haben Primärkontakt, d. h. der Primärkontakt liegt immer auf der Seite, auf der der Scharnierachsenpunkt SA weiter cranial steht.

Der maximale vertikale okklusale Fehler dy liegt dann auf der Gegenseite im distalen Kontaktbereich.

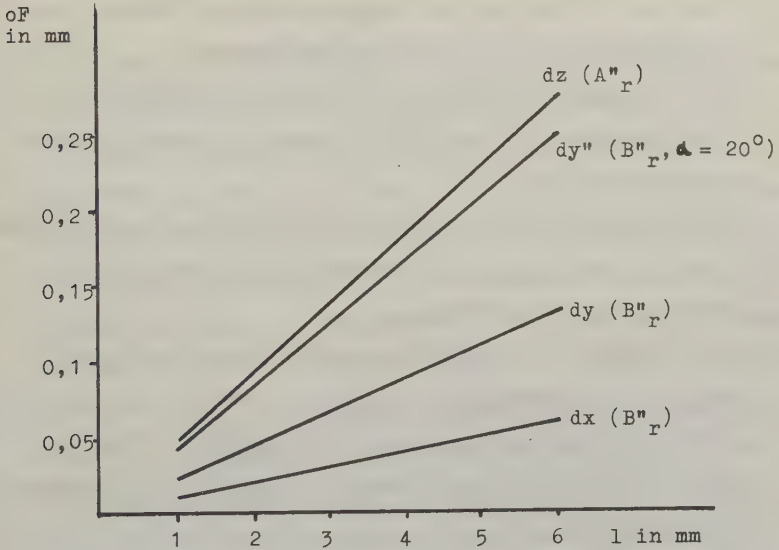
Desorientierungsrichtung der Kontaktpunkte, wenn SA_l weiter cranial liegt:

A''_r und B''_r : distal und rechts

A''_l und B''_l : mesial und rechts

Abb. 24:

Darstellung der maximalen okklusalen Fehler in Abhängigkeit von der Öffnungsweite l , wenn die einseitige Gelenkverschiebung $s = 5 \text{ mm}$



Vergleich mit den Berechnungen anderer Autoren

A) Vergleich mit den Berechnungen von Brotman (2)

Brotman hat nur den sagittalen okklusalen Fehler dx eines Punktes im Frontzahnbereich berechnet. Auf das Sperren der Zahnreihen dy und den vertikalen okklusalen Fehler des Primärkontakts dy' ist er nicht eingegangen, d. h. eine Gesamtbetrachtung über die dreidimensionale Lage des nicht drehachsengerecht eingegipsten Unterkiefermodells wurde nicht angestellt.

Für das Ausmaß der Drehachsendsorientierung s hat Brotman 5 und 7 mm und für die Öffnungsweite l im Bereich der Front 1 - 8 mm angenommen.

Um das Rechnen zu vereinfachen hat Brotman die Seiten a , b und r des rechtwinkligen Dreiecks (s. Abb. 8) in Relation zu den anatomischen Verhältnissen vergrößert, denn er setzte für die Katheten 5 und 12 cm und für die Hypotenuse 13 cm ein: $5^2 + 12^2 = 13^2$

Er erzielte dadurch zwar eine Erleichterung, indem er mit glatten Zwischenzahlergebnissen weiter rechnen konnte, mußte aber einen Größenfehler, der auch geometrisch nur schwer überschaubar ist, in Kauf nehmen:

Die Verlängerung der Strecke a verringert den okklusalen Fehler dx .

Die Verlängerung der Strecke b vergrößert den okklusalen Fehler dx .

Diese gegensätzliche Beeinflussung der Werte für den okklusalen Fehler dx hebt sich aber nicht auf, sondern ändert

sich in Abhängigkeit von der Abweichrichtung.

Deshalb stimmen bei manchen Abweichrichtungen die Ergebnisse von Brotman mit den hier errechneten gut überein, bei anderen Abweichrichtungen differieren die Werte für dx aber bis zu ca. 45 %.

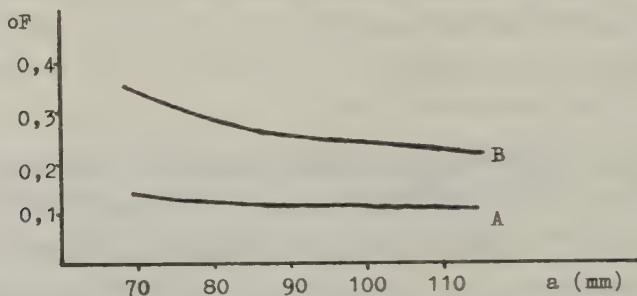
B) Vergleich mit den Berechnungen von Kühl und Roßbach (7, 8)

Kühl und Roßbach haben im Gegensatz zu Brotman zwar den sagittalen okklusalen Fehler dx von mehreren Punkten der Zahnreihe berechnet. Sie sind aber ebenfalls nicht auf die dreidimensionale Lage des nicht drehachsengerecht in den Artikulator eingesetzten Unterkiefermodells eingegangen. Deshalb hat Kühl bei den unparallelen Drehachsenänderungen festgestellt, daß hierbei der sagittale okklusale Fehler dx bei parallelen Drehachsenänderungen nicht überschritten wird; es wurden aber die größeren transversalen und vertikalen okklusalen Fehler, die besonders bei der Verstellung der Drehachse in der Vertikalebene auftreten, vernachlässigt.

Kühl und Roßbach haben ihre Berechnungen vor allem auf die Modellanalyse bei der Okklusionsdiagnostik abgestimmt, indem sie für die Scharnierachsenfehlregistrierung s 5 mm und als Öffnungsweite l im Bereich der Front 2 und 5 mm eingesetzt haben. Der maximale okklusale Fehler dx bei der Öffnungsweite $l = 2$ mm beträgt dann 0,14 und bei der Öffnungsweite $l = 5$ mm 0,35 mm.

Roßbach kommt bei seiner Auswertung zu folgender Darstellung.

Abb. 25:



a = Abstand Inzisivenpunkt-Drehachse

oF = okklusaler Fehler

A = 2 mm Bißsperre

B = 5 mm Bißsperre

Es wurde schon Seite 19 festgestellt, daß eine Veränderung der Strecke a das Ausmaß des okklusalen Fehlers beeinflusst, wie es hier zeichnerisch dargestellt ist. Daraus muß man aber folgern, daß zwei verschieden stark in sagittaler Richtung desorientierte Punkte eines Modells nicht gemeinsam beim Schließen die Okklusionsebene erreichen können; deshalb ist das Modell gekippt, es kommt zu einem Primärkontakt und zum Sperren der Zahnreihen im mesialen oder distalen Zahnreihenabschnitt.

Die maximalen sagittalen okklusalen Fehler liegen bei Kühl um ca. 30 % über den in der Tabelle 3 zusammengestellten Werten für dx. Dies kommt daher, daß sich die Maxima von dx bei Kühl auf das Molarengebiet und in der Tabelle 3 auf den Frontzahnbereich beziehen (s. Abb. 25).

Diskussion

A) Diskussion der Genauigkeit der Zahlenwerte

Schon durch die hier gewählte Methodik der Berechnung treten Fehler auf, die aber überschaubar sind.

Die Werte für den okklusalen Fehler dx (s. Tabelle 3) wurden immer nur für den Eckzahnbereich A berechnet; sie gelten also nicht für den Molarenbereich B. Man müßte also, wenn man immer genau die sagittale Desorientierung des Primärkontaktes festhalten wollte, bei den Abweichrichtungen distocranial, distal und distocaudal (Zahnreihen sperren mesial) jeweils ca. 25 % für den Wert dx aufschlagen.

Es wurde aber trotzdem dieser Weg beschritten, da einerseits die Okklusionsverhältnisse nie so ideal sind, daß der Primärkontakt immer unbedingt an der Zahnreihenperipherie auftreten muß, und andererseits ließen sich dann die Werte von dx für die verschiedenen Abweichrichtungen nicht mehr vergleichen (s. Abb. 15).

Aus der Abb. 12 kann man ersehen, daß der y -Wert von A mit dem y -Wert von A" nicht ganz identisch ist. Zusätzlich wird immer nur die y -Wert-Differenz von B und B" als Maß des vertikalen okklusalen Fehlers dy angenommen, auch wenn die Zahnreihen mesial sperren.

Die Fehler, die für dy hierdurch entstehen, liegen selbst bei einer Öffnungsweite l von 6 mm in der Grenze von 5 %.

Die Berechnungen von Brotman zeigen weiterhin, daß allein durch Änderung der anatomischen Ausgangsgrößen a, b und r Fehler der Zahlenergebnisse bis zu ca. 45 % auftreten.

Es geht auch weniger darum, zahlenmäßig bis auf 1/1000 mm genau bei speziellen Desorientierungen die okklusalen Fehler auszurechnen, denn da müßte man für jeden Patienten die individuellen Ausgangsgrößen (auch die Neigung der Führungsflächen schwankt innerhalb einer Zahnreihe) einsetzen, sondern man kann mit Hilfe dieser Berechnungen in etwa für ideale Okklusionsverhältnisse die Dimensionen der okklusalen Fehler feststellen und sich fragen, ob diese Fehler zu vernachlässigen sind.

B) Beurteilung der okklusalen Fehler im Artikulator

Die entscheidende Frage ist, ob die okklusalen Fehler innerhalb der Reproduktionsgenauigkeit der Modelle im Artikulator liegen.

Dies bedeutet aber nicht gleich, daß die durch eine Desorientierung der Drehachse hervorgerufenen okklusalen Fehler zu vernachlässigen sind, wenn sie geringer sind als die technisch gesehen unvermeidbaren Fehler, denn man muß die errechneten okklusalen Fehler mit den Fehlern infolge Reproduktionsungenauigkeit addieren.

Es kommt auf die Relation dieser beiden Fehlergrößen an, d. h. erst wenn die errechneten okklusalen Fehleinstellungen nur einen Bruchteil der unvermeidbaren Ungenauigkeiten ausmachen, so könnte man sie unberücksichtigt lassen.

Deshalb muß man klären, wie genau man überhaupt die Kieferrelationen des Patienten auf Modelle übertragen kann.

Bei der sagittalen Kieferrelation ist wichtig, wie gut ein bestimmter Ausgangspunkt, der der zentralen Okklusion nahe liegt, immer wieder am Patienten reproduzierbar ist. Bock (1) hat festgestellt, daß z. B. bei den Registriermethoden der Unterkieferlage nach Lucia, Shore und Lauritzen 0,07 mm als Mittelwert der sagittalen Abweichung nicht überschritten werden.

Fuchs (5) untersuchte verschiedene Materialien für die Okklusionsfixierung (s. S. 16). Nach der Übertragung der Fixierungen auf Modelle (Material- und Abdruckfehler sind also bereits eingeschlossen) fand er folgende sagittale und transversale Ungenauigkeiten hinsichtlich der Reproduzierbarkeit.

Die mittlere sagittale Abweichung von einem Mittelwert betrug zwischen 0,155 mm (Alu-Wax) und 0,480 mm (Copr-Wax) und die mittlere transversale Abweichung zwischen 0,172 mm (Beauty Pink Wax) und 0,352 mm (Copr-Wax).

Auch wenn man die Ungenauigkeiten bei der Abdrucknahme und der Fixierung der Modelle im Artikulator in Rechnung stellt (z. B. auch die Expansion des verwendeten Montagegipses), dürften bei den Registriermethoden im Rahmen der Okklusionsdiagnostik die technisch unvermeidbaren Fehler nicht größer als 0,10 bis 0,15 mm in sagittaler Richtung sein. Registriermethoden, bei denen wenig Rücksicht auf die Reproduzierbarkeit der Kieferrelationen gelegt wird und bei denen deshalb

von der zentralen Okklusion mehr oder weniger stark abgewichen wird, können aber sagittale Fehler des Modells im Artikulator bis zu ca. 0,5 mm und transversale Fehler bis zu ca. 0,3 mm bedingen.

Bei parallelen Drehachsenänderungen kommt es zu einem sagittalen und vertikalen okklusalen Fehler.

Bei einer Bißsperre im Bereich der Front von 2 mm und einer Desorientierung der Drehachse um 5 mm betragen die sagittalen okklusalen Fehler je nach der Desorientierungsrichtung der Rotationsachse zwischen 0,025 mm und 0,100 mm; die Maxima für den Molarenbereich können aber auch bis 0,125 mm ansteigen. Die Maxima der vertikalen okklusalen Fehler bei gleicher Parameterkonstellation liegen um 0,03 mm. Bei steilen Führungsflächen kann sich dieser vertikale okklusale Fehler bis auf ca. 0,07 mm ausdehnen.

Eine Vergrößerung der Öffnungsweite bei der Registrierung als auch der Drehachsendesorientierung läßt die okklusalen Fehler in dem diskutierten Bereich ziemlich genau linear ansteigen, d. h. wenn bei obiger Konstellation nur die Bißöffnung im Bereich der Front auf 5 mm erweitert wird, so erhält man für den sagittalen okklusalen Fehler Werte zwischen ca. 0,06 mm und 0,25 mm, im Molarenbereich sogar bis zu ca. 0,31 mm. Die Maxima der vertikalen okklusalen Fehler erreichen dann wieder bei gleicher Parameterkonstellation ca. 0,07 mm und können bei steilen Führungsflächen bis auf ca. 0,18 mm anwachsen.

Die größten okklusalen Fehlerwerte, die bei einer Öffnungsweite von 6 mm und einer Drehachsendesorientierung um 15 mm gefunden wurden, beliefen sich auf ca. 0,90 mm für den sagittalen okklusalen Fehler und auf ca. 0,55 mm für den vertikalen okklusalen Fehler bei steilen Führungsflächen.

Bei unparallelen Verstellungen der Drehachse im Artikulator in der Horizontalebene oder in der Vertikalebene werden die sagittalen okklusalen Fehler, die bei parallelen Drehachsenänderungen erreicht werden, nicht überschritten. Speziell bei der Verstellung der Drehachse in der Vertikalebene kommt es aber zu einem Sperren im Molarenbereich, das das Ausmaß bei parallelen Drehachsenänderungen übersteigt, z. B. bei einer Öffnungsweite von 5 mm und einer einseitigen Desorientierung eines Gelenkes um 5 mm beträgt der vertikale okklusale Fehler bereits bis zu ca. 0,11 mm; bei steilen Führungsflächen werden auch Maxima um 0,25 mm erreicht.

Es kommt bei unparallelen Desorientierungen der Rotationsachse zusätzlich zu transversalen okklusalen Fehlern, die wieder speziell bei der Drehachsenverstellung in der Vertikalebene auffallend groß sind. Sie erreichen bei der einseitigen Desorientierung eines Gelenkes um 5 mm Werte von ca. 0,09 mm bei einer Bißsperre von 2 mm und ca. 0,23 mm bei einer Bißsperre von 5 mm.

Das Ausmaß der verschiedenen okklusalen Fehler infolge einer Drehachsendesorientierung ist also durchaus mit den technisch

unvermeidbaren Fehlern zu vergleichen. Die okklusalen Fehler überschreiten bei großen Öffnungsweiten zum Teil sogar die Reproduktionsgenauigkeit der Modelle im Artikulator.

Man muß daraus schließen, daß es besonders für die Modellanalyse und der sich anschließenden Therapie wichtig ist, die Drehachse genau mit der kinematischen Methode (Lauritzen) zu bestimmen, da hier bereits geringfügige okklusale Interferenzen im Bereich von wenigen $1/100$ mm, die bei normaler Motorik der Kaumuskulatur das Toleranzniveau der neuromuskulären Mechanismen nicht überschreiten, als Triggerfaktor für exzessive Leerbewegungen wirken und damit einen Circulus vitiosus in Gang setzen (8).

Bei Laborarbeiten mit relativ großen Drehachsendesorientierungen im Artikulator erreichen die okklusalen Fehler ein Ausmaß, das einen "passenen Zahnersatz" theoretisch überhaupt nicht mehr zuläßt, wenn man bedenkt, daß z. B. ein Kippen der Modelle um nur 2 mm um eine sagittale Achse einen maximalen sagittalen okklusalen Fehler von ca. 0,06 mm, einen maximalen vertikalen okklusalen Fehler von ca. 0,21 mm bei einer Bißsperre von 5 mm bedingen. Wenn trotzdem viele Arbeiten recht gut passen, so ist das darauf zurückzuführen, daß sich mehrere Fehlerquellen kompensieren und die verschiedenen Desorientierungsrichtungen nicht alle gleich große okklusale Fehler hervorrufen.

Man kann aber trotzdem fordern, daß einerseits die Bißsperre

bei der Registrierung klein gehalten wird, z. B. durch die Verwendung von dünnen Wachsplatten (Beauty Pink Wax oder Alu-Wax, also keine elastischen oder andere dicke Materialien) und andererseits bei Laborarbeiten die Modelle zumindest annähernd drehachsengerecht eingestellt werden, um das Einschleifen im Munde des Patienten möglichst gering zu halten. So ist letztlich die größere Mühe bei der Registrierung der Unterkieferhaltung und beim Eingipsen in den Artikulator doch ein Zeitgewinn.

Zusammenfassung

Es wurden im Rahmen einer geometrischen und mathematischen Betrachtung theoretisch die okklusalen Folgen einer Desorientierung der Rotationsachse im Artikulator untersucht.

Die errechneten Werte für die okklusalen Fehler, die dreidimensional erfaßt wurden, liegen bei dem diskutierten Bereich von 2,5 bis 15 mm für die Drehachsendesorientierung und 1 bis 6 mm für die Bißsperre im Frontzahngebiet zum Teil über der Reproduktionsgenauigkeit der Modelle im Artikulator.

Es ist deshalb wünschenswert, daß einerseits im Rahmen der Okklusionsdiagnostik die Scharnierachse am Patienten exakt, d. h. experimentell bestimmt wird und andererseits bei Laborarbeiten die Arbeitsmodelle annähernd drehachsengerecht eingegipst werden. Weiterhin sollte generell bei Registrierungen der Unterkieferlage die Bißöffnung so klein wie möglich gehalten werden. .

Literaturverzeichnis

1. Bock, O. Untersuchung über verschiedene Methoden der Registrierung der Unterkieferlage im vollbezahnten Gebiß
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 823 (1967)
2. Brotman, N. Hinge Axis
Part I. The Transverse Hinge Axis
Part II. Geometric Significance of the Transverse Axis
Part III. Vertical and Sagittal Rotational Centers
J. prosth. Dent. 10, 436, 631, 873 (1960)
3. Fischer, R. Die Artikulationslehre
in Häupl, K., Meyer, W., Schuchardt, K. Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Verlag Urban & Schwarzenberg München/Berlin
IV, 95 - 176 (1956)
4. Fröhlich, F. Der Begriff der zentrischen Okklusion
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 77, 941 (1967)
5. Fuchs, P. Untersuchungen über die Genauigkeit von Okklusionsfixierungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 298 (1967)
6. Hupfaut, L. Die Okklusionsdiagnostik im parodontal insuffizientem Gebiß
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 791 (1967)
7. Kühl, W. Geometrie der scharnniergelenkbezüglichen Modellorientierung
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 873 (1967)

8. Kuhl, W.
Roßbach, A. Zur Okklusionsdiagnostik und Okklusions-
therapie
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 571 (1969)
9. Roßbach, A. Auswirkungen von Fehlregistrierungen der
Interkondylarachse auf die Reproduktions-
genauigkeit von Artikulationsbewegungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 222 (1970)
10. Spirgi, M.
Nicolas, G. Die Lauritzen-Technik für die Therapie
parodontaler Läsionen und funktioneller
Störungen des Kiefergelenks
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 811 (1967)
11. Weinberg, L. A. An evaluation of the face-bow mounting
J. prosth. Dent. 11, 32 (1961)

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, mich bei
Herrn Professor Dr. Dr. O. B o c k für die
Überlassung des Themas und für die freundliche
Beratung zu bedanken.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Herrn
Dr. A. R e u ß , der sich die Mühe gemacht
hat, den mathematischen Weg zu überprüfen.

L e b e n s l a u f

Name: W e i d n e r
Vornamen: Fritz Christian
Geburtstag: 19. Dezember 1945
Geburtsort: Stadtsteinach
Name des Vaters: Franz Weidner
Beruf des Vaters: Verw.-Amtmann i. R.
Name der Mutter: Carolina Weidner, geb. Göldel
Konfession: römisch-katholisch

Schulbesuch: Volksschule Stadtsteinach
September 1952 - Juli 1956
Markgraf-Georg-Friedrich-Gymnasium Kulmbach
September 1956 - Juli 1965

Hochschulbesuch: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen
Studienfach: Zahnmedizin
WS 1965/66 - WS 1970/71

zahnärztliche
Vorprüfung: 29. Oktober 1968

zahnärztliche
Approbation: 3. Mai 1971

Anstellung: seit dem 16. Mai 1971 als wissenschaft-
licher Assistent in der konservierenden
Abteilung der Universitäts-Kieferklinik
in Erlangen

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
